

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA EDUCACION - CENTRO DE FORMACION DEL
PROFESORADO

DEPARTAMENTO DE DIDACTICA Y ORGANIZACION ESCOLAR



* 5 3 0 9 5 5 1 7 4 7 *

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE

LA RESOLUCION DE PROBLEMAS EN LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS. ASPECTOS DIDACTICOS Y COGNITIVOS.

Memoria presentada por

M^a PALOMA VARELA NIETO

para optar al grado de Doctor

Directora: Dra. M^a MERCEDES MARTINEZ AZNAR
Profesor Titular de Escuela Universitaria

Tutor: Dr. FELIX E. GONZALEZ JIMENEZ
Profesor Titular de Universidad

AGRADECIMIENTOS

Citar a todas las personas que, de una forma u otra, han contribuido a la realización de este trabajo, sería una tarea muy extensa. Son muchas las que me han ayudado con su colaboración y estímulo. A todas mi sincero reconocimiento.

En particular quiero expresárselo

A la Dra. M^a Mercedes Martínez Aznar, por su dedicación y entusiasmo que ha sobrepasado con mucho sus "obligaciones" de directora.

Al Dr. Félix González Jiménez, tutor de la tesis doctoral, por su continuo apoyo y orientación.

Igualmente a los Departamentos de Didáctica y Organización Escolar y Didáctica de las Ciencias Experimentales por la confianza demostrada.

Mi agradecimiento también, para aquellos profesores y estudiantes de los Institutos Rey Pastor, Mariana Pineda, Marqués de Suances y Gerardo Diego de Madrid, que colaboraron en este trabajo.

A las profesoras Belén Aldea, Paloma Fernández y Pilar Fernández, que, desde la Psicología, me "alumbraron".

A la Dra. M. J. Fernández y al Dr. R. Carballo por su asesoramiento en el tratamiento estadístico de los datos.

A Araceli Castellanos y Marcelino García por su eficacia y paciencia a la hora de elaborar el texto.

A M^a Jesús, Ana, M^a Jesús (la Manrique) y M^a Carmen, por el conocimiento compartido.

A Carmen, Juan, Esther y Rafael por su apoyo, siempre desinteresado.

*A Rafael, por su efectiva e inagotable
solidaridad.*

*A Elena y Cristina, colaboradoras y testigos
de esta investigación, con el deseo de que su
condición de mujer no sea un obstáculo para
su desarrollo profesional.*

*A mis compañeros, profesores de Física,
conscientes como yo de la dificultad de la
tarea.*

"No existe ninguna tendencia importante del pensamiento de los estudiantes de la cual el profesor lúcido no detecte alguna huella en sus propios razonamientos..... Solo es necesario pasar a contextos más complejos. Si el profesor se interesa por los razonamientos de sus alumnos, hallara en los propios una rica fuente de inspiración".

Laurence Viennot

INDICE

INTRODUCCION	1
 PARTE I. MARCO TEORICO	
 CAPITULO 1. LA RESOLUCION DE PROBLEMAS. ASPECTOS DIDACTICOS Y COGNITIVOS.	
1.1. ¿QUE ES UN PROBLEMA?	15
1.1.1. Soluciones desde la Psicología cognitiva	15
1.1.2. Soluciones desde la Didáctica de las Ciencias	18
1.2. PERSPECTIVAS EN LA INVESTIGACION SOBRE LA RESOLUCION DE PROBLEMAS	21
1.2.1. Estudios sobre modelos explicativos acerca de como resuelven problemas (línea expertos/novatos)	23
1.2.2. Estudios realizados sobre métodos instruccionales para desarrollar la habilidad de resolver problemas.	29
1.3. PROPUESTAS METODOLOGICAS PARA LA ENSEÑANZA DE LA RESOLUCION DE PROBLEMAS	33
1.3.1. El "problema" de los "problemas"	33
1.3.2. Resolución de problemas-ejercicio de enunciado numérico a partir de algoritmos de resolución	35
1.3.3. Propuestas basadas en planteamientos investigativos	42
1.4. UNA PROPUESTA DE RESOLUCION DE PROBLEMAS DE LAPIZ Y PAPEL COMO ACTIVIDAD DE INVESTIGACION	51
1.4.1. Aspectos generales	51
1.4.2. Descripción del modelo de resolución	53
1.4.3. Razones de la elección	58

**CAPITULO 2. LOS ESQUEMAS CONCEPTUALES ALTERNATIVOS
Y SU POSIBLE EVOLUCION 64**

2.1. INTRODUCCION 65

2.2. EL CONSTRUCTIVISMO, UNA TEORIA EMERGENTE 67

**2.3. LOS ESQUEMAS CONCEPTUALES ALTERNATIVOS
DE LOS ESTUDIANTES EN EL CAMPO DE LAS CIENCIAS 74**

2.3.1. Aportaciones desde la Psicología Cognitiva. 74

2.3.2. Aportaciones desde la Didáctica de las Ciencias. 78

**2.4. DE LAS CONCEPCIONES ALTERNATIVAS A LAS
CONCEPCIONES CIENTIFICAS: EL CAMBIO CONCEPTUAL. 85**

**2.4.1. El modelo PSHG (Posner, Strike, Hewson y Gertzog) de
cambio conceptual. 86**

**2.4.2. Una profundización del modelo. Teorías desarrolladas sobre las
ideas de Hewson. 90**

**2.4.3. Otros modelos de cambio conceptual apoyados en la Filosofía
de la Ciencia. 94**

**2.4.4. Modelos de cambio conceptual que subrayan las
implicaciones didácticas. 96**

**2.5. LA RESOLUCION DE PROBLEMAS: UN INSTRUMENTO DE
CAMBIO CONCEPTUAL. 105**

**CAPITULO 3. ESQUEMAS ALTERNATIVOS EN EL CAMPO DE LA
MECANICA 109**

3.1. INTRODUCCION 110

3.2. CAIDA DE GRAVES 112

**3.3. LA FUERZA COMO MEDIDA DE LA INTERACCION
ENTRE DOS SISTEMAS: PRINCIPIO DE ACCION Y REACCION. . 118**

3.4.	FUERZA Y MOVIMIENTO.	127
3.4.1.	Estudios con trayectorias rectilneas	127
3.4.2.	Estudios con trayectorias curvilneas	132
3.5.	PRINCIPIO DE CONSERVACION DE LA ENERGIA MECANICA .	139
3.6.	A MODO DE SINTESIS	147

CAPITULO 4. ESQUEMAS ALTERNATIVOS EN EL CAMPO DE LA ELECTRICIDAD

		152
4.1.	INTRODUCCION	153
4.2.	IDEA DE CIRCUITO CERRADO	155
4.3.	LA CONSERVACION DE LA CORRIENTE ELECTRICA	159
4.3.1.	Circuitos elctricos simples	159
4.3.2.	Circuitos electricos complejos	162
4.4.	RAZONAMIENTO SECUENCIAL.	165
4.5.	EL PROBLEMA DEL VOLTAJE.	169
4.6.	CONSERVACION DE LA ENERGIA EN CIRCUITOS ELECTRICOS.	178
4.7.	A MODO DE SINTESIS	182

CAPITULO 5. EL PROBLEMA DE LAS DIFERENCIAS INDIVIDUALES 187

5.1.	INTRODUCCION	188
5.2.	LOS ESTILOS COGNITIVOS. EL ESTILO DEPENDENCIA- INDEPENDENCIA DE CAMPO	191

5.2.1. Aspectos generales.	191
5.2.2. Estilo Dependencia-independencia de campo. Relación con otras variables.	196
5.2.3. Dependencia-independencia de campo y la teoría de los operadores constructivos.	200
5.2.4. El estilo cognitivo DIC y los esquemas conceptuales alternativos.	203
5.2.5. El estilo cognitivo DIC y la resolución de problemas.	210
5.3. DIFERENCIAS INDIVIDUALES DEBIDAS AL NIVEL DE DESARROLLO DEL PENSAMIENTO FORMAL.	217
5.3.1. El pensamiento formal en el marco de la teoría de J. Piaget. Perspectivas neopiagetianas.	217
5.3.2. Pensamiento formal y su relación con los esquemas conceptuales de los estudiantes.	221
5.3.3. Pensamiento formal y resolución de problemas.	223
5.4. EL PENSAMIENTO FORMAL Y SU RELACION CON EL ESTILO COGNITIVO DEPENDENCIA-INDEPENDENCIA DE CAMPO. . . .	228

PARTE II. DISEÑO DE LA INVESTIGACION

CAPITULO 6. DISEÑO Y METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION .	235
6.1. PLANTEAMIENTO GENERAL	236
6.1.1. Fases del trabajo y temporalización	242
6.1.2. Implicaciones curriculare	245
6.2. HIPOTESIS DE LA INVESTIGACION	248
6.3. NATURALEZA Y ENTORNO DE LAS MUESTRAS UTILIZADAS .	255
6.4. METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION E INSTRUMENTOS UTILIZADOS.	260

6.4.1. Métodos cuantitativos/métodos cualitativos: un enfrentamiento a superar	261
6.4.2. Las ideas previas y su posible evolución. Instrumentos utilizados en su detección.	264
6.4.3. La influencia de las diferencias individuales. El problema de su medición	267
6.4.4. Las actitudes de los estudiantes: un aspecto relevante a considerar	277
6.4.5. "Aprendiendo a aprender": el papel de la Metacognición	283
6.4.6. Técnicas de análisis de datos	288

PARTE III. DESARROLLO DE LA INVESTIGACION Y RESULTADOS

CAPITULO 7. LA RESOLUCION DE PROBLEMAS DE ENUNCIADO ABIERTO. METODOLOGIA DE TRABAJO EN EL AULA 294

7.1. ANALISIS CUALITATIVO DE LA SITUACION	295
7.2. SUPUESTOS PREVIOS DEL MODELO DE TRABAJO	297
7.3. ELABORACION DE ESTRATEGIAS	299
7.3.1. Metodología de trabajo en el aula.	300
7.3.2. La entrevista como instrumento para favorecer el metaaprendizaje.	306
7.4. ENTRENAMIENTO EN LA RESOLUCION DE PROBLEMAS DE ENUNCIADO ABIERTO	309
7.4.1. Descripción del modelo de resolución.	309
7.4.2. Otros problemas utilizados en la investigación.	326
7.5. EVALUACION DEL PROCESO. RESULTADOS	330
7.5.1. Análisis del metaaprendizaje sobre el proceso de resolución. . . .	332
7.5.1.1. Diferencias individuales acerca de las fases de resolución.	336
7.5.1.2. Análisis de dificultades.	341

7.5.2. Criterios utilizados para la evaluación de los problemas de enunciado abierto.	346
7.5.3. Evolución de los estudiantes en el proceso de resolución de problemas.	361
7.5.3.1. Análisis centrado en las áreas.	362
7.5.3.2. Análisis global del proceso.	369
7.5.4. Estudio sobre las actitudes de los estudiantes.	375
7.6. PRIMERAS CONCLUSIONES	385
 CAPITULO 8. ANALISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS	 391
8.1. INTRODUCCION	392
8.2. CONSIDERACIONES PREVIAS: CATEGORIAS DE VALORACION DE LOS ESQUEMAS CONCEPTUALES.	393
8.3. CAMBIO CONCEPTUAL EN LOS ALUMNOS DEL GRUPO EXPERIMENTAL: CONTRASTACION DE LA HIPOTESIS 1	409
8.3.1. Area de Mecánica.	411
8.3.1.1. Subhipótesis H1.1 acerca de la evolución de los esquemas conceptuales.	413
8.3.1.2. Subhipótesis H1.2 acerca de la coherencia interna de los esquemas conceptuales.	419
8.3.2. Area de Electricidad.	425
8.3.2.1. Subhipótesis H1.1 acerca de la evolución de los esquemas conceptuales.	427
8.3.2.2. Subhipótesis H1.2 acerca de la coherencia interna de los esquemas conceptuales.	433
8.3.2.3. Subhipótesis H1.3 acerca de la persistencia en el tiempo del cambio conceptual.	436
8.3.3. Conclusiones acerca de la contrastación de la Hipótesis 1	440

8.4.	CAMBIO CONCEPTUAL EN LOS ALUMNOS DEL GRUPO CONTROL. CONTRASTACION DE LA HIPOTESIS 2.	445
8.4.1.	Area de Mecánica.	446
8.4.2.	Area de Electricidad.	450
8.4.3.	Conclusiones acerca de la contrastación de la Hipótesis 2	454
8.5.	INFLUENCIA DE LAS DIFERENCIAS INDIVIDUALES EN EL CAMBIO CONCEPTUAL. CONTRASTACION DE LA HIPOTESIS 3: .	457
8.5.1.	Resultados correspondientes al primer análisis.	460
8.5.2.	Resultados correspondientes al segundo análisis.	482
8.5.3.	Conclusiones acerca de la contrastación de la Hipótesis 3.	485
8.6.	INFLUENCIA DE LAS DIFERENCIAS INDIVIDUALES EN LA RESOLUCION DE PROBLEMAS.CONTRASTASTACION DE LA HIPOTESIS 4.	487
8.6.1.	Problemas de enunciado abierto.	490
8.6.2.	Problemas de enunciado cerrado.	507
8.6.3.	Conclusiones acerca de la contrastación de la Hipótesis 4	510

PARTE IV. CONCLUSIONES

CAPITULO 9. CONCLUSIONES E IMPLICACIONES DIDACTICAS . . .	514
9.1. PRESENTACION	515
9.2. SINTESIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS	517
9.3. IMPLICACIONES DIDACTICAS	525
9.4. NUEVAS PESPECTIVAS DE INVESTIGACION	532

BIBLIOGRAFIA	534
ANEXO 1	565
ANEXO2	586

INTRODUCCION

La investigación que ahora presentamos ha tenido como finalidad estudiar la eficacia del proceso de entrenamiento de un grupo de estudiantes en **una metodología investigativa de resolución de problemas de enunciado abierto**, centrada en el campo de la Física. Se ha investigado hasta que punto este proceso va a producir en los estudiantes **un cambio conceptual**, persistente en el tiempo, acompañado de **una actitud positiva** hacia el aprendizaje de la Ciencia. Por otra parte, estábamos interesados en analizar **la interacción de las diferencias individuales** desde una perspectiva cognitiva, sobre la respuesta de los sujetos al tratamiento aplicado.

A lo largo de esta introducción vamos a destacar los puntos que consideramos fundamentales presentando un resumen de cada uno de los capítulos en que se ha estructurado esta memoria.

CONSIDERACIONES GENERALES: UN PROBLEMA A RESOLVER.

A lo largo de los veinticinco años que he trabajado como profesora de Ciencias y más en concreto como profesora de Física, he venido detectando que los alumnos de esta asignatura tienen enormes dificultades en el aprendizaje de la misma, tanto en sus aspectos conceptuales como en lo que caracteriza a la Ciencia desde un punto de vista metodológico: **la resolución de problemas**.

La detección de estas dificultades y tratar de buscar caminos para resolverlas en el marco de la investigación educativa, ha sido mi preocupación como profesional. En esta línea y junto con otros compañeros que compartían mi inquietud, he participado a lo largo de los últimos diez años, en distintos proyectos de innovación e investigación educativa, encaminados siempre a tratar de solucionar el problema detectado: **la dificultad que presenta a los**

estudiantes el proceso se aprendizaje en una materia como la Física. Esta disciplina tiene para los alumnos de Bachillerato una dificultad intrínseca debido al nivel de abstracción en que se mueve, al grado de sistematización de que está dotada y al lenguaje altamente formalizado en que se expresa.

En el momento actual, la problemática que hemos planteado hay que considerarla enmarcada en dos referentes, uno ligado al contexto de la investigación y otro, que tome en cuenta la situación educativa de nuestro país. El primer punto lo trataremos con detalle en el siguiente apartado y en cuanto al segundo, únicamente incidir en que nos encontramos en un momento de desarrollo de la LOGSE que, en principio, va a introducir cambios importantes en nuestro quehacer educativo.

EL AMBITO DE LA INVESTIGACION

En la actualidad, la problemática de la investigación educativa sobre el proceso de enseñanza/aprendizaje de las Ciencias, está haciendo un gran esfuerzo para integrar por una parte, perspectivas procedentes de lo que podemos llamar genéricamente Psicología de la Educación y por otra, aportaciones desde el campo de la Didáctica de las Ciencias, superando las divergencias y desencuentros que tradicionalmente han existido entre ambas orientaciones. Es un hecho admitido que ambos enfoques, aunque se interesen por aspectos distintos, acaban por tropezar con los mismos *obstáculos epistemológicos*, los que se derivan de la propia naturaleza del conocimiento científico y su adquisición (Gil, 1993 y Pozo, 1993).

La investigación en Didáctica de las Ciencias, asumiendo su conexión con la Psicología, se ha centrado fundamentalmente en los puntos siguientes:

- Aprendizaje de conceptos
- Diferencias individuales frente a la instrucción
- Resolución de problemas

En nuestra opinión, estos aspectos pueden y deben considerarse **complementarios**, a la hora de profundizar en como los estudiantes modifican sus conocimientos y procesos de pensamiento y consecuentemente, estudiar sus implicaciones en el diseño de la instrucción. En coherencia con esta idea, la tesis doctoral que ahora presentamos puede considerarse una aportación integradora de los tres puntos mencionados ya que, a través de **la resolución de problemas**, hemos estudiado la evolución conceptual de los alumnos y la interacción que, sobre todo el proceso, van a tener las diferencias individuales, entendidas desde una perspectiva cognitiva.

El utilizar como hilo conductor de toda la investigación la resolución de problemas, nos ha llevado a plantearnos una pregunta que consideramos fundamental y cuya contestación ha constituido la finalidad de esta investigación:

¿Como se aprende, y en consecuencia, como se puede enseñar a resolver problemas dentro de un área de contenido específico como la Física?

El planteamiento de esta pregunta lleva implícito el reconocimiento del "*problema*" de los "*problemas*" y la respuesta ha girado alrededor de tres ideas clave:

- En una perspectiva constructivista del aprendizaje, el proceso de resolución de problemas depende por una parte, del área de conocimiento donde se resuelva el problema, y por otra de la representación mental que del mismo tenga la persona que resuelve. La resolución es un *proceso de reestructuración*

dentro del cual el sujeto debe ser capaz de crear *significados* a través de la relación entre las nuevas informaciones con las que se enfrenta y los esquemas de conocimientos previos.

- Las características que presentan los individuos van a interaccionar con la realización de determinadas tareas como pueden ser las implicadas en la resolución de problemas de Física.

- En opinión de los expertos, aprender a resolver problemas lleva aparejado una serie de procedimientos que hay que enseñar específicamente en el contexto escolar, dada la incapacidad de los estudiantes para desarrollarlos por sí mismos.

Tomando como referencia todo lo anterior hemos escogido para la realización de esta investigación, el modelo de resolución de problemas de enunciado abierto que, con una metodología de tipo investigativo, ha desarrollado en nuestro país el equipo que dirige el profesor Daniel Gil de la Universidad de Valencia. Según sus autores, el trabajo continuado con este modelo va a producir en los estudiantes, a través de un cambio metodológico, un cambio conceptual significativo y una actitud positiva hacia el aprendizaje de las Ciencias.

PRESENTACION DEL TRABAJO

De acuerdo con los presupuestos que hemos comentado en los apartados anteriores, presentamos a continuación un esquema general de la memoria estructurada en cuatro partes, apareciendo seguidamente un resumen de cada uno de los capítulos que la componen. Cada capítulo se ha concebido con una entidad propia lo que va a permitir realizar una lectura independiente de los mismos.

PARTE I. MARCO TEORICO

Cap 1. La resolución de problemas. Aspectos didácticos y cognitivos

Cap 2. Los esquemas conceptuales alternativos y su posible evolución

Cap 3. Esquemas alternativos en el campo de la Mecánica

Cap 4. Esquemas alternativos en el campo de la Electricidad

Cap 5. El problema de las diferencias individuales

PARTE II. DISEÑO DE LA INVESTIGACION

Cap 6. Diseño y metodología de la investigación

PARTE III. DISEÑO DE LA INVESTIGACION Y RESULTADOS

Cap 7. La resolución de problemas de enunciado abierto. Metodología de trabajo en el aula

Cap 8. Análisis y discusión de resultados

PARTE IV. CONCLUSIONES

Cap 9. Conclusiones e implicaciones didácticas

PARTE I. MARCO TEORICO

En el **Capítulo 1: La resolución de problemas. Aspectos didácticos y cognitivos**, intentamos en primer lugar contestar a la pregunta **¿Qué es un problema?** tanto, desde una orientación cognitiva del aprendizaje -insistiendo en el conocimiento de los procesos internos de organización del pensamiento- como desde el campo de la Didáctica de las Ciencias, donde numerosos investigadores han tratado de dar respuesta a esta cuestión dentro de las áreas específicas de conocimiento.

En la segunda parte del capítulo, se presenta un conjunto amplio de investigaciones, centradas en el campo de Física, donde los autores intentan describir modelos sobre como los individuos resuelven problemas haciendo hincapié en los procedimientos que utilizan, línea *expertos/novatos*.

Termina este capítulo con una descripción pormenorizada de un conjunto de propuestas metodológicas diseñadas explícitamente para enseñar a los alumnos a resolver problemas. En este marco, se presenta el modelo que hemos utilizado a lo largo de nuestra investigación, dando énfasis a las razones que han motivado su elección y que fundamentalmente han sido las siguientes:

- Trabajar con **situaciones problemáticas de carácter abierto** obliga a los estudiantes a desarrollar procesos de resolución más ricos y complejos que cuando se enfrentan a problemas-ejercicio de enunciado cerrado.

- Una metodología de resolución de problemas como la propuesta, va a promover en los estudiantes un **cambio conceptual** enmarcado en la teoría constructivista del aprendizaje.

- El modelo de trabajo, por sus características, ofrece posibilidades para estudiar la **incidencia de las diferencias individuales** sobre el proceso de resolución.

Tomando como punto de partida, la influencia de las características el sujeto sobre el proceso de aprendizaje, en el **Capítulo 2: Los esquemas conceptuales alternativos y su posible evolución**, se aborda con detalle la existencia, en los estudiantes, de ideas espontáneas o alternativas sobre conceptos científicos. Desde una perspectiva constructivista del aprendizaje, se presentan distintas justificaciones para esta existencia y la posibilidad de que experimenten una determinada evolución como consecuencia de procesos instruccionales.

En la primera parte del capítulo, se profundiza en la perspectiva constructivista donde a las concepciones de los alumnos se les asigna un mayor estatus epistemológico considerándolas más que un obstáculo, un instrumento útil en el proceso de aprendizaje. En este marco, aprender Ciencia, es **reconstruir los conocimientos partiendo de las propias ideas de los individuos**, ampliándolas o modificándolas según los casos.

A partir de las premisas anteriores, se plantea toda la problemática del **cambio conceptual**, como el proceso por el cual se va a conseguir que los estudiantes evolucionen hacia concepciones más próximas a las defendidas actualmente por la Ciencia. Desde un punto de vista didáctico, se justifica el modelo de resolución de problemas que hemos utilizado en nuestra investigación, como un procedimiento idóneo para promover el cambio deseado.

En los **Capítulos 3 y 4: Esquemas alternativos en el campo de la Mecánica y de la Electricidad** describimos un conjunto de esquemas

alternativos sobre conceptos que se consideran fundamentales, tanto desde un punto de vista epistemológico, como por su importancia en los currículos escolares. De todos estos esquemas, se presentan las investigaciones realizadas en nuestro entorno destacando las pruebas que se han empleado para la detección de ideas y los resultados obtenidos con alumnos de características similares a las empleados en nuestra investigación.

En el **Capítulo 5: El problema de las diferencias individuales**, se han descrito los planteamientos teóricos, en el marco de la Psicología Cognitiva, encaminados a poner de manifiesto que, determinadas variables individuales como **el estilo cognitivo dependencia-independencia de campo, el nivel de desarrollo del pensamiento formal y el sexo de los estudiantes, podrían ser factores relevantes en la ejecución de tareas de Ciencias.**

A lo largo del capítulo aparecen numerosas investigaciones que, con sentido integrador, han estudiado la interacción de las diferencias citadas sobre los esquemas conceptuales alternativos de los estudiantes y su eficacia en tareas de resolución de problemas.

PARTE II: DISEÑO DE LA INVESTIGACION

En el **Capítulo 6: Diseño y metodología de la investigación** se plantean las cuatro hipótesis que hemos contrastado a lo largo de la investigación. Las dos primeras, recogen la existencia de ideas alternativas en los estudiantes y la posible influencia que en su evolución van a tener los distintos entrenamientos en el campo de la resolución de problemas. Las otras dos hipótesis, incluyen la influencia de las diferencias individuales sobre la realización de tareas de Ciencias, en el sentido aludido en el **Capítulo 5.**

Dada la importancia de este capítulo, vamos a destacar sus aspectos más relevantes:

- La investigación corresponde a un diseño *cuasiexperimental*, decantándonos por una *validez ecológica*, que se interesa fundamentalmente por la generalización de los efectos experimentales a otras situaciones. En cuanto al tema de las muestras, se ha primado el aspecto de la *representatividad* sobre el problema del *tamaño*.

- En relación a la metodología utilizada en la investigación, hemos tomado la decisión de emplear tanto **métodos cualitativos como cuantitativos** - de acuerdo con las necesidades planteadas- asumiendo que ambos pueden considerarse *compatibles y complementarios*.

- El trabajo realizado dentro del aula, en cuanto a los aspectos curriculares, se ha desarrollado a partir de los contenidos de **Física** correspondientes al curso **3º de Bachillerato**. La metodología ha estado orientada por el paradigma **investigación-acción** donde el profesor juega el doble rol profesor/investigador asumiendo la hipótesis del *conflicto sociocognitivo*, concebido como resultado de la confrontación entre iguales producida en el transcurso de la interacción social. Se han introducido en el proceso, estrategias de trabajo encaminadas a favorecer en los estudiantes aspectos relativos a la **metacognición**.

PARTE III. DESARROLLO DE LA INVESTIGACION Y RESULTADOS.

El **Capítulo 7: La resolución de problemas de enunciado abierto.** Metodología de trabajo en el aula aborda, a modo de "*problema*", la descripción de todo el proceso realizado con los estudiantes, enmarcado en una orientación constructivista del aprendizaje. Este proceso se ha llevado a cabo bajo dos supuestos de trabajo:

- La metodología de tipo investigativo propuesta a los alumnos va a conseguir una evolución positiva en su capacidad de resolver problemas.
- El entrenamiento realizado va a promover en los estudiantes una actitud positiva hacia el aprendizaje de las Ciencias en general y hacia la resolución de problemas en particular.

En la segunda parte del capítulo se aborda la evaluación de todo el proceso, planteada como una reflexión crítica sobre todos los momentos y factores que intervienen en el mismo. En este sentido nos hemos decantado por una **evaluación formativa** caracterizada principalmente por favorecer estrategias de realimentación.

El capítulo termina con el análisis y discusión de los resultados que van a permitir obtener unas primeras conclusiones.

El **Capítulo 8: Análisis y discusión de resultados** presenta todo lo referente a la contrastación de las cuatro hipótesis planteadas en la investigación. Se especifican todos los análisis estadísticos realizados así como las conclusiones parciales que se han obtenido para cada una de ellas.

PARTE IV. CONCLUSIONES

Termina la memoria con el **Capítulo 9: Conclusiones e implicaciones didácticas** donde se presenta una síntesis de los resultados obtenidos, sus posibles implicaciones didácticas en el contexto escolar y algunos problemas que quedan abiertos a nuevas investigaciones.

PARTE I

MARCO TEORICO

CAPITULO 1

LA RESOLUCION DE PROBLEMAS. ASPECTOS DIDACTICOS Y COGNITIVOS.

1.1. ¿QUE ES UN PROBLEMA?

Contestar a esta pregunta es el primer "problema" con que nos enfrentamos. A partir del planteamiento integrador que hemos presentado en la **Introducción**, vamos a tratar de responder desde dos perspectivas distintas pero íntimamente ligadas entre sí: la procedente de la Psicología Cognitiva y la aportada desde el campo de la Didáctica y más específicamente, desde el campo de la Didáctica de las Ciencias siendo esta aportación, en mi opinión, deudora de la anterior.

1.1.1. SOLUCIONES DESDE LA PSICOLOGIA COGNITIVA

Dentro de la Psicología cognitiva se puede tomar como punto de partida la definición de problema aportada por H.A.Simon(1978):

"una persona se enfrenta a un problema cuando acepta una tarea, pero no sabe de antemano como realizarla. Aceptar una tarea implica poseer algún criterio que pueda aplicarse para determinar cuando se ha terminado la tarea con éxito" (p198)

o también la que proponen Chi y Glaser (1986): *"un problema es una situación en la que se intenta alcanzar un objetivo y se hace necesario un medio para conseguirlo"*

De acuerdo con estas definiciones un problema va acompañado siempre de una cierta incertidumbre y en ese sentido podemos llamar "*resolución de problemas*" al proceso mediante el cual la situación incierta es clarificada implicando siempre la aplicación de conocimientos por parte del sujeto que resuelve.

Desde una perspectiva histórico-psicológica ha habido dos aportaciones que podemos considerarlas en el origen de las teorías de la resolución de problemas: la primera está inscrita dentro del paradigma asociacionista y la segunda, situada en cierto sentido en el polo opuesto de la primera, es la conocida como Psicología de la Gestalt.

En la perspectiva asociacionista, el proceso de resolución de problemas pone el énfasis en las conductas fundamentadas en el ensayo/error, las jerarquías de hábitos y las cadenas de asociación. El aprendizaje dentro de este marco se produce después de haber resuelto una serie de problemas similares. En opinión de diversos autores este tratamiento de la resolución de problemas es superficial y confuso y no ha permitido realizar avances significativos.

En la **Psicología de la Gestalt** la resolución de problemas no se limita a la utilización de forma mecánica de experiencias anteriores (*pensamiento reproductivo*), como en la perspectiva asociacionista, sino que supone la génesis de algo nuevo no mimético (*pensamiento productivo*). De acuerdo con los psicólogos de la Gestalt, el proceso de resolución parte de la estructura del problema intentando relacionar unos aspectos con otros. Es decir, realiza una *comprensión estructural* del problema. Por otra parte, la capacidad de captar como todas las partes del problema encajan para satisfacer las exigencias del objetivo implica *reorganizar* los elementos de la situación problemática y en

consecuencia resolver el problema (R. Mayer,1986). En síntesis, los gestalistas centran la atención en como los elementos encajan para formar una estructura, en una visión coherente con la contribución que estos autores han hecho al estudio de la percepción.

La corriente más fuerte y con mayor influencia en el campo de la resolución de problemas, dentro del marco de la Psicología cognitiva, es la conocida con el nombre de **Procesamiento de la información** desarrollada desde hace unos 20 años a partir de las aportaciones de A.Newell y H.A. Simon. Las teorías encuadradas bajo esta denominación, han protagonizado un progreso importante, especialmente en lo que se refiere a proporcionar explicaciones sobre los procesos utilizados, en el campo de la solución de problemas bien estructurados. En este marco teórico, la resolución de problemas se considera como una interacción entre el *sistema de procesamiento de la información*, el sujeto que soluciona problemas, y el *ambiente de la tarea* representando este último la tarea tal y como es descrita por el experimentador. Al enfocar la tarea, el sujeto que resuelve problemas representa la situación en términos de un *espacio del problema* -forma en que considera el ambiente de la tarea-, estando contenidos en este espacio el estado inicial del problema, el estado final o meta y todos los estados intermedios (Simon,1978).

Para terminar, otra aportación a la resolución de problemas que podemos también considerar dentro de la Psicología cognitiva, es la enmarcada en la corriente denominada **constructivismo**. El punto más relevante respecto al tema que estamos desarrollando es el que hace referencia a que **el proceso de resolución de problemas depende fundamentalmente del contenido específico del problema y de la representación mental que del mismo tenga la persona que resuelve**. Esta perspectiva es deudora de las teorías del aprendizaje de

Ausubel ya que, para este autor, la resolución de problemas es un proceso de reestructuración dentro del cual el sujeto debe ser capaz de crear *significados* a través de la relación entre las nuevas informaciones con las que se enfrenta y los esquemas de conocimientos previos. Por ser este el enfoque psicológico que hemos asumido en la investigación que estamos presentando, lo describiremos con cierto detalle en el capítulo siguiente.

1.1.2 SOLUCIONES DESDE LA DIDACTICA DE LAS CIENCIAS

Desde el campo de la Didáctica de las Ciencias la pregunta que hacíamos al principio del apartado: **¿Qué es un problema?** se desdobra en varias cuyo contenido es:

¿Qué es un problema para los estudiantes?

La contestación podría darse en los siguientes términos: un problema para los alumnos es cualquier situación cualitativa o cuantitativa que se les plantea dentro del contexto escolar y a la cual tienen que dar una solución.

Algunos didactas prefieren utilizar una definición que ponga el acento en el carácter investigativo que debe llevar este tipo de actividad. **Para ellos un problema es una tarea que, de entrada, no tiene solución evidente, y como consecuencia exige investigación.**

En el marco de la enseñanza institucionalizada, el objetivo principal que suele adjudicarse a la tarea de resolver problemas es que el estudiante aprenda

contenidos en un sentido amplio de la palabra: contenidos conceptuales, de procedimientos y actitudinales. Otra cuestión relevante que se plantea dentro del marco educativo es que un determinado problema existe en función de la persona que tiene que resolverlo, y en esta línea hay que destacar, por sus implicaciones didácticas, que lo que para los estudiantes es un *problema* para el profesor es un *ejercicio* en el sentido de que conoce, *a priori*, cual es la solución y el camino para llegar a ella.

La siguiente pregunta que se puede formular es:

¿Por qué realizar actividades de resolución de problemas?

La contestación que han dado algunos didactas se apoya en diferentes tipos de argumentos (Martínez Aznar, 1990):

- Educativos: la resolución de problemas constituye un procedimiento activo de aprendizaje donde los alumnos son los protagonistas. Puede resultar una tarea altamente motivadora colaborando eficazmente a modificar las posibles concepciones alternativas que tienen en un campo determinado.

- Científicos: los alumnos tienen la ocasión de familiarizarse con el modo en que "trabajan los científicos" haciéndose conscientes de que la finalidad primordial de la Ciencia es precisamente **resolver los problemas** que el hombre se ha ido planteando en el curso del tiempo. Este tipo de tareas va a favorecer en ellos actitudes científicas como la curiosidad, la perseverancia etc.

- Ideológicos: Con actividades de resolución de problemas se pretende que los alumnos traspasen los límites de la escuela y se familiaricen con problemas

del mundo real. En este sentido los problemas que se plantean en la clase deberían ser relevantes desde un punto de vista tecnológico y social.

La tercera cuestión a plantear sería:

¿Cómo se aprende, y en consecuencia, como se puede enseñar a resolver problemas dentro de un área de contenido específico como por ejemplo la Física?

Esta es la pregunta clave cuya contestación ha representado para los profesores e investigadores en Didáctica de las Ciencias un auténtico "problema". Desde este campo y concretamente desde el de la Didáctica de la Física, donde se encuadra el estudio que estamos presentando, se han llevado a cabo numerosas investigaciones tanto para profundizar sobre como los estudiantes resuelven problemas como para evaluar la eficacia de propuestas metodológicas concretas encaminadas a favorecer la resolución. Una descripción detallada de estos estudios aparecen en los siguientes apartados de este capítulo.

1.2. PERSPECTIVAS EN LA INVESTIGACION SOBRE LA RESOLUCION DE PROBLEMAS EN EL CAMPO DE LA FISICA.

El número de trabajos de investigación sobre resolución de problemas, aún restringiéndonos en concreto a los que están encuadrados en la enseñanza de las Ciencias, es extraordinariamente elevado. Por su relevancia en el trabajo cuya memoria presentamos, vamos a fijarnos unidamente en los trabajos desarrollados en el área de la **Física** dentro de la cual se ha hecho un esfuerzo notable debido por una parte, al alto nivel de desarrollo teórico y práctico de esta disciplina y por otra, a su relación con el mundo que nos rodea. Eylon y Linn sintetizan estas ideas cuando afirman:

"La resolución de problemas en un dominio como la Física tiene la ventaja de tener características del mundo real al mismo tiempo que está asociada a un dominio de conocimiento bien estructurado (los principios de la Física) y unos procedimientos bien definidos de la resolución de problemas (Eylon y Linn, 1988, p 273)".

Existen diferentes criterios a la hora de clasificar los trabajos de investigación del campo que nos ocupa. Un intento muy clarificador fue el desarrollado por R. Garret bajo el título *"Problem-solving in science education"* (1986), donde el autor realizó una concienzuda revisión de la literatura publicada, cerca de 200 referencias bibliográficas (indicando país y década en que se han realizado), tanto en el campo de la Didáctica de las Ciencias como en el de la Psicología del aprendizaje. Con ánimo de poner orden en este extenso

campo -y en opinión del autor desorganizado-, R. Garret ha realizado la siguiente clasificación.

- 1) Métodos de investigación es decir procedimientos para obtener datos: entrevistas individuales, análisis de protocolos, estudio de casos...
- 2) Propuestas de investigación: perfeccionamiento en la resolución de problemas, estudios sobre la naturaleza de la citada resolución, exploraciones de la relación entre resolución de problemas y otros factores...
- 3) Tipos de tareas: puzles, problemas, contexto del problema...
- 4) Variables del sujeto que van a influir en la resolución del problema: estilos cognitivos, nivel de desarrollo, coeficiente de inteligencia, actitud, sexo...

Termina Garret esta interesantísima aportación haciendo un llamamiento a los investigadores en el sentido de que profundicen en la comprensión del concepto de "**resolución de problemas**" con el fin de clarificar la confusión sobre que entender como tal y determinar como consecuencia cuales son las variables más influyentes en el proceso.

En España, los autores que han investigado en la resolución de problemas en Física y Química han realizado también un esfuerzo notable por organizar los trabajos efectuados en ese campo (López Rupérez, 1991 ; Martínez-Torregrosa, 1987; Ramírez, 1990; Oñorbe 1993 y Perales, 1993).

En esa misma línea, nosotros vamos a presentar una revisión bibliográfica, siguiendo las orientaciones de los citados ya Eylon y Linn, según las cuales se pueden clasificar las investigaciones en dos grupos:

a) trabajos que intentan describir modelos sobre como los individuos resuelven problemas (línea expertos/novatos) haciendo hincapié en como almacenan la información científica y los procedimientos que utilizan cuando tienen que aplicar esta información a la resolución de problemas ⁽¹⁾

b) trabajos que profundizan en el desarrollo de métodos de enseñanza que sean efectivos para aumentar la habilidad de los sujetos para resolver problemas.

1.2.1 ESTUDIOS SOBRE MODELOS EXPLICATIVOS ACERCA DE COMO RESUELVEN PROBLEMAS (LINEA EXPERTOS/NOVATOS)

Las investigaciones en esta línea intentan caracterizar el conocimiento de los resolventes de problemas por comparación entre individuos expertos y novatos tomando como base dos aspectos ⁽²⁾:

- **Conocimiento de la materia y su organización.** Este punto interesa desde la premisa de que los expertos tienen mejor almacenada y más organizada la información, utilizándola además de forma diferente que los novatos. Larkin y Reif (1979) sugieren que los conocimientos básicos de los expertos incluyen principios generales almacenados de forma coordinada en "*chunks*" los cuales

⁽¹⁾ Esta orientación, que se ha desarrollado ámpliamente está claramente asociada a la corriente del procedimiento de la información comentada anteriormente.

⁽²⁾ Esta división viene a coincidir con las ya clásicas: conocimiento declarativo ("conocer qué") y conocimiento procedimental ("conocer cómo")

pueden aplicar para generar conocimientos específicos necesarios a la hora de resolver problemas particulares.

Chi et al. (1981), han explorado estas diferencias, pidiendo a los dos colectivos que categorizaran problemas de Física: los resultados muestran que los novatos tienden a fijarse en la información superficial mientras que los expertos tienden a categorizar los problemas usando la información esencial que se requiere para generar una solución.

Resultados similares han sido aportados por M. Caillot (1985), en el área de la Electricidad donde se pidió que categorizarán -de acuerdo con un conjunto de montajes de resistencias presentados- circuitos simples a partir de sus diagramas. Los novatos juzgaban, por ejemplo, que las resistencias estaban conectadas en serie si se presentaban geométricamente alineadas aunque apareciera algún nudo entre ellas. Por el contrario, los expertos utilizaban para la clasificación principios generales. Este autor aporta la idea de que cuando los novatos van avanzando en su habilidad como resolventes, comienzan también a categorizar los problemas utilizando principios generales aunque sus agrupaciones están todavía influenciadas por consideraciones geométricas (en Mecánica se ha observado de forma similar la influencia de la colocación de los objetos).

En nuestro país, y en el campo de la Física, F. López Rupérez (1991) ha realizado una investigación con alumnos de Física de COU, clasificados en "buenos resolventes" (expertos) y "malos resolventes" (novatos), a la luz del análisis de los protocolos verbales, *thinking aloud*, y de los mapas conceptuales realizados a lo largo del proceso de resolución. Los problemas, correspondientes a las áreas de Mecánica y Electricidad se escogieron, en palabras del autor,

de modo que los estudiantes debían aportar el procedimiento de resolución, es decir, las situaciones planteadas eran en conjunto nuevas para ellos.

En los resultados del trabajo, el autor manifiesta haber encontrado las diferencias que a continuación comentamos. En lo referente al conocimiento declarativo, los buenos resolventes disponen de una estructura cognitiva algo más densa y rica en relación a los malos resolventes. Por lo que respecta al conocimiento de los procedimientos, los "expertos" tienden a cometer un número algo menor de errores conceptuales, generan una cantidad de ecuaciones sólo algo superior pero con un número mayor de inferencias orientadas hacia una solución efectiva y son netamente superiores en el rendimiento que obtienen de la representación figurativa del enunciado. En cuanto a aspectos generales, los buenos resolventes se muestran seguros y confiados en el trabajo que tienen que realizar.

A modo de resumen podemos afirmar que existen diferencias cualitativas entre expertos y novatos a la hora de organizar el conocimiento de Física: **los novatos organizan la información alrededor de aspectos superficiales y los expertos alrededor de principios centrales y procedimientos asociados.** Podemos considerar que la diferencia entre expertos y principiantes **no es tanto el tipo de estrategia que utilizan, cuanto la forma en que organizan la información y la relevancia o irrelevancia de la misma.**

Se admite además, que la forma en que los estudiantes integran la información influye en como posteriormente resuelven problemas, siendo también importante para esta resolución la representación del problema, entendiendo por representación la forma en que la información es suministrada.

● **Destrezas en los procedimientos.** Las investigaciones citadas hasta ahora pertenecerían mayoritariamente, a lo que se ha venido en llamar conocimiento declarativo. Vamos a describir a continuación aquellos que se han fijado en conocimiento de procedimientos. La mayor parte de los autores están de acuerdo en que para resolver problemas hacen falta destrezas de **planificación**, (habilidad para seleccionar y ordenar el conocimiento necesario), de **verificación** (habilidad para determinar que plan es el efectivo), y de **reformulación** (habilidad para modificar el plan, a la luz de la información obtenida con la verificación). De las tres destrezas citadas, la que ha experimentado mayor nivel de investigación ha sido la de planificación. Así numerosos autores han investigado como los buenos resolventes planifican la solución en el campo concreto de la Mecánica: Champagne et al. (1980); Larkin (1981); Reif y Heller (1982). En concreto, J.Larkin (1983) ha estudiado, mediante análisis de protocolos, los procedimientos usados por expertos y novatos cuando resuelven problemas y argumenta que los expertos planifican cuidadosamente las características de la solución y evalúan su viabilidad antes de desarrollar los detalles.

Simon y Simon (1978), han llegado a la misma conclusión en un estudio con problemas de Cinemática indicando que los expertos expresan los detalles de planificación en prosa y no mediante la utilización de lenguaje matemático.

Otro estudio interesante en este campo es el desarrollado por Clement en 1983 en el cual observó como expertos en un área resolvían problemas en otra que no les era familiar. Comprobó que empleaban mucho tiempo poniendo a prueba la validez de sus ideas: proponían una analogía, descubrían su debilidad y buscaban una nueva analogía. Los expertos desarrollan un plan general que incluye varias alternativas y comprueban cada solución a la luz de las opciones empleadas. Es decir, mediante las destrezas de verificación y reformulación,

estos sujetos se aproximan a la solución del problema. En contraste, los novatos a menudo carecen de un plan y fallan a la hora de generar alternativas. Como síntesis de todas las aportaciones que hemos referido podemos afirmar que:

- los expertos parecen desarrollar la habilidad de la resolución de problemas a través de su experiencia.

- los expertos utilizan procedimientos mejores que los novatos en orden a seleccionar la información apropiada cuando tienen que acceder a un dominio de conocimiento: un aumento en la destreza de planificación tiene como consecuencia un aumento en la habilidad de seleccionar la mejor aproximación a la solución del problema.

Dentro del campo que estamos abordando sobre las destrezas de procedimiento que favorecen la resolución de problemas, merece la pena destacar las investigaciones que han profundizado en las llamadas **destrezas metacognitivas**, entendidas como las destrezas encaminadas a reflexionar sobre los propios procesos cognitivos (Flavell, 1976) y que, en opinión de numerosos autores, deben de formar parte de los programas sobre enseñanza de estrategias de aprendizaje. Este tema ha sido discutido en relación a la resolución de problemas llegándose a algunas conclusiones en relación con la temática que nos ocupa:

- a) los expertos dedican mayor tiempo a desarrollar estrategias metacognitivas que los novatos

- b) los estudiantes raramente reflexionan sobre su propia resolución debido a que carecen de técnicas para evaluar sus aproximaciones y

c) los estudiantes no están demasiado interesados en comprobar el grado de consistencia de sus producciones

Por la importancia para el trabajo que hemos realizado, en el **Capítulo 6**, referente al diseño de la investigación, profundizaremos en este tipo de destrezas y su relación con el metaaprendizaje en el contexto escolar de la resolución de problemas.

Para terminar este apartado vamos a presentar unas consideraciones generales que pueden afectar al conjunto de los trabajos que acabamos de describir:

- Las investigaciones en este campo conllevan un elevado grado de dificultad debido a que el comportamiento de los individuos a la hora de resolver problemas es difícil de observar y no se infiere fácilmente desde el estudio de la solución realizada, de ahí el empleo mayoritario de técnicas como el "thinking aloud" o las entrevistas personales.

- Por otra parte el concepto de experto/novato en la resolución de problemas no puede delimitarse con claridad. Hay un continuo entre ambos extremos que depende de muchas variables tales como el tema tratado, el tipo de problema.

- En cuanto a la determinación de posibles pautas didácticas útiles para la instrucción, se ha discutido la validez de estos trabajos señalando la dificultad de transferir el proceso que realiza un experto a metodologías de enseñanza para novatos o principiantes.

1.2.2. ESTUDIOS REALIZADOS SOBRE METODOS INSTRUCCIONALES PARA DESARROLLAR LA HABILIDAD DE RESOLVER PROBLEMAS.

Vamos a presentar a continuación algunas las investigaciones realizadas por los autores que han mostrado interés en el estudio de la influencia de determinados tratamientos en relación al desarrollo de habilidades para la resolución de problemas, dejando para el apartado siguiente los trabajos que recogen con detalle propuestas metodológicas sobre la propia resolución.

Con una organización similar a la desarrollada en el apartado anterior vamos a clasificar los trabajos realizados en dos apartados:

- **Conocimiento y organización en dominios específicos de conocimiento.** Es un principio asumido que los estudiantes tienen dificultades en la resolución de problemas en una determinada materia debido a un desconocimiento o falta de comprensión de la propia materia tanto en lo referente a los conocimientos conceptuales como a sus relaciones.

Larkin y Reif (1979) impartieron un curso introductorio de Mecánica donde se daban instrucciones explícitas sobre la interpretación y uso de las relaciones fundamentales que aparecían en el curso, entrenándose cuidadosamente a los alumnos en rutinas de análisis, interpretación y uso de relaciones. Este tratamiento condujo a la obtención de un considerable éxito en la resolución de los problemas de Física.

Otro trabajo interesante, es el realizado por Bascones y Novak (1985), en el cual se presenta un sistema, alternativo al tradicionalmente realizado con estudiantes de enseñanza secundaria de Venezuela, encaminado a desarrollar el tipo de habilidades que estamos comentando. El entrenamiento estaba basado en la teoría del aprendizaje de Ausubel en el sentido de avanzar de los contenidos más generales e inclusivos hasta llegar a las ideas más particulares y diferenciadas desarrollando, en gran medida, las relaciones correspondientes mediante la construcción de mapas conceptuales encaminados a organizar el conocimiento conceptual de los estudiantes. Análisis comparativos llevan a los autores a concluir que la propuesta presentada da resultados significativamente superiores al sistema tradicional aunque hay que señalar que a la hora de realizar la correspondiente evaluación, ponen el énfasis en aspectos relacionados con el proceso general de resolución, más que con los resultados concretos obtenidos.

Con la misma orientación, Reif (1981) y Linn (1987) llaman la atención sobre el hecho de que una buena comprensión de los principios teóricos no conducen sin más a una buena resolución si no que, por el contrario, los estudiantes tienen que aprender a seleccionar las estrategias más apropiadas.

- **Conocimiento en destrezas de procedimientos.** Eylon y Helfman (1988) citado por Eylon y Linn (1988), investigaron el rol que jugaban los procedimientos generales, ejemplos, principios y fórmulas en el comportamiento de un grupo de estudiantes de Bachillerato (High school) cuando estudiaban el tema de Estática de fluidos. Inicialmente se les enseñó los principios y fórmulas correspondientes entregando a continuación a grupos diferentes : a) un ejemplo de un problema resuelto, b) dos ejemplos, c) un procedimiento general de resolver problemas, d) un procedimiento general y un ejemplo y d) una tarea

irrelevante. Los estudiantes, separados en tres grupos según su habilidad, realizaron un test para evaluar sus conocimientos sobre Estática de fluidos.

Los autores concluyeron que los estudiantes fracasan en la resolución de problemas cuando sólo reciben principios y fórmulas, incluso los más capaces necesitan información acerca de los procesos sobre la citada resolución. Otro resultado interesante muestra que los estudiantes de mayor nivel, aprovechan la instrucción que incluye procedimientos generales mientras que los de habilidad media, necesitan procedimientos y ejemplos. Los de nivel más bajo no son capaces de utilizar procedimientos generales y en su lugar requieren varios ejemplos. En síntesis, los autores afirman que la forma de instrucción es extremadamente importante para conseguir que los estudiantes aprendan a resolver problemas y esta instrucción tiene que tener en cuenta las diferencias individuales que aparecen en una clase.

En la misma línea que estamos comentando, diversos investigadores han señalado la necesidad de entrenar a los estudiantes de forma detallada en los diferentes procedimientos que tienen que realizar ya que no tienen usualmente la habilidad para unir la idea general de lo que hay que hacer con los procedimientos concretos que tienen que construir. Reif y Heller, (1982), en el trabajo que ya hemos citado anteriormente, desarrollaron un programa muy detallado para resolver problemas de Mecánica donde se incluían por ejemplo, procedimientos específicos para construir descripciones cualitativas del sistema. Wright y Williams (1986), han desarrollado también un modelo sobre estrategias para aumentar la efectividad de la resolución de problemas en un curso introductorio de Física. Lo más destacado de su enfoque es el énfasis que daban, en el mismo sentido que los anteriores autores, al trabajo preliminar de la

descripción del problema insistiendo también en la fase de evaluación de la solución del mismo.

Como conclusión de los aportaciones comentadas podemos afirmar la necesidad de enseñar específicamente procedimientos para resolver problemas dada la incapacidad de los estudiantes para desarrollarlos por sí mismos.

1.3. PROPUESTAS METODOLOGICAS PARA LA ENSEÑANZA DE LA RESOLUCION DE PROBLEMAS

En el apartado anterior hemos presentado un conjunto de trabajos que, bajo diferentes enfoques, se han desarrollado en el área de investigación de la resolución de problemas dentro del campo de la Física. Por su interés para la tesis doctoral que hemos realizado, vamos a comentar con cierto detalle aquellas investigaciones encaminadas a describir propuestas metodológicas para la enseñanza de la resolución de problemas con la característica común, de haber sido llevadas al aula a fin de comprobar su nivel de eficacia. De la abundante literatura existente destacaremos las aportaciones que han tenido cierta repercusión entre los profesores interesados en el campo de la Didáctica de las Ciencias y en concreto, una de las propuestas que vamos a describir es la que hemos seleccionado para llevar a cabo nuestra investigación.

A modo de cuestión previa, vamos a intentar contestar a la siguiente pregunta: **¿Cuáles son las razones por las que se han planteado diferentes alternativas para enseñar a resolver problemas?.**

1.3.1. EL "PROBLEMA" DE LOS "PROBLEMAS"

La actividad de **resolver problemas** de lápiz y papel es, junto a la de **explicar conceptos**, a la que la mayoría de los profesores dedican un porcentaje

importante de tiempo y esfuerzo dentro del aula. Generalmente el método de enseñanza consiste en que el profesor resuelva los problemas en la pizarra presentando esta corrección, consciente o inconscientemente, como "*modelo de resolución*". Los alumnos en número desafortunadamente, no demasiado elevado, llegan a identificar el modelo asumiéndolo como un algoritmo de resolución que intentarán aplicarlo cuando identifiquen el problema como del "*mismo tipo*" que el realizado por el profesor. A.M. Oñorbe (1990), ha descrito este proceso mediante un esquema como el que se presenta en la Figura 1.1.

PROFESOR	ALUMNO
Presenta un ejercicio (conoce perfectamente la estrategia de resolución)	Se encuentra un problema (no conoce la estrategia o algoritmo de resolución)
↓	↓
Presenta un método, modelo para resolverlo	Comprende/memoriza el algoritmo correspondiente
↓	↓
Presenta nuevos ejercicios (con algunas variaciones sobre el inicial)	Reconoce el problema (lo transforma en ejercicio)
↓	↓
Controla resultados y evalúa	Se entrena en el algoritmo
	↓
	Es evaluado

FIGURA 1.1. Metodología de resolución de problemas. (Oñorbe, 1989)

Como se puede observar, el objetivo principal del profesor es ofrecer técnicas con las que resolver todos los tipos de problemas posibles para que, llegado el caso, no tenga que enfrentarse a ningún problema cuyo algoritmo de resolución desconozca. El "*problema*" surge cuando aparecen nuevos "tipos" de problemas a los que el alumno no es capaz de transferir los algoritmos

aprendidos y frente a los cuales se siente desarmado y como consecuencia normalmente abandona (Gilbert,1980).

Numerosos profesores-investigadores han sido desde hace años conscientes del "problema" de los "problemas", estudiando el alto índice de fracaso que se produce cuando los estudiantes tienen que realizar este tipo de tareas (Gilbert, 1980; Selvaratman, 1983; Gil y col., 1988 b ; Kramers-Pal y Pilot, 1988; Oñorbe,1993). Como consecuencia de estos datos, se han realizado diferentes propuestas encaminadas a implementar cambios metodológicos a fin de mejorar la instrucción en este campo admitiendo los autores, como supuesto implícito, (se puede deducir de la mayoría de los trabajos de investigación descritos en el Apartado 1.2.2) la necesidad de "entrenar" a los alumnos si queremos que alcancen un determinado nivel de eficacia para resolver problemas en materias de cierta complejidad como es el caso de la Física.

En la descripción de propuestas que vamos a realizar comenzamos con las que ponen el énfasis en resolver problemas-ejercicio, usualmente de tipo numérico, para terminar con los que presentan los problemas como actividades encaminadas a familiarizar al alumno con la metodologías de tipo investigativo.

1.3.2. PROBLEMAS-EJERCICIO DE ENUNCIADO NUMERICO

En esta línea podemos encuadrar a los autores que han puesto el acento en la enseñanza de algoritmos que faciliten la resolución de los problemas transformándolos generalmente en problemas estándar.

- **El modelo de resolución de G. Polya**

Como precursor de la corriente que estamos comentando podemos citar a **G. Polya** cuyo libro: "*Como plantear y resolver problemas*" (*How to solve it*, 1945) es una aportación clásica que ha tenido gran influencia en el desarrollo de la resolución de problemas tanto de Matemáticas, especialidad del autor, como de Ciencias. G. Polya propone para la resolución de problemas cuatro fases cuyo recorrido orienta mediante la utilización de una serie de preguntas cuya contestación es, en opinión del autor, necesaria para llegar a una solución efectiva. Estas fases son:

1) Comprensión del problema

- ¿Cuál es la incógnita? ¿Cuáles con los datos?
- ¿Cuál es la condición? ¿Es la condición suficiente para determinar la incógnita? ¿Es suficiente? ¿Redundante? ¿Contradictoria?

2) Concepción de un plan

- ¿Se ha encontrado con un problema semejante?
- ¿Conoce un problema relacionado con éste? ¿Conoce algún teorema que le pueda ser útil?
- He aquí un problema relacionado con el suyo y que ya se ha resuelto . -¿Podría usted utilizarlo? ¿Podría utilizar su resultado? ¿Podría emplear su método? ¿Le haría a usted falta introducir algún elemento auxiliar a fin de poder utilizarlo?
- ¿Podría enunciar el problema en otra forma? ¿Podría plantearlo en forma diferente?
- Si no puede resolver el problema propuesto, trate de resolver primero algún problema similar. ¿Podría imaginarse un problema análogo un tanto más accesible? ¿Un problema más general? ¿Un problema más particular?
- ¿Ha empleado todos los datos? ¿Ha empleado todas las condiciones? ¿Ha considerado usted todas las nociones esenciales concernientes al problema?

3) Ejecución del citado plan

- Al ejecutar su plan de la solución, compruebe cada uno de los pasos.
- ¿Puede usted ver claramente que el paso es correcto? ¿Puede usted demostrarlo?

4) Visión retrospectiva o revisión del resultado

- ¿Puede usted verificar el resultado? ¿Puede verificar el razonamiento?
- ¿Puede obtener el resultado en forma diferente? ¿Puede verlo de golpe?
- ¿Puede usted emplear el resultado o el método en algún otro problema?

Aunque el modelo es aparentemente rígido, una lectura detallada del libro comentado pone de manifiesto que G.Polya tiene una perspectiva sumamente amplia acerca del proceso de resolución y en ese sentido, hace una declaración de intenciones entre las que hay que destacar la necesidad de ayudar al alumno de forma efectiva para que desarrolle habilidades que le permitan resolver por sí mismo las tareas que se le presenten.

Hay que señalar también, que el citado autor recomienda su plan de trabajo, basado en las fases descritas, para aplicarlo a problemas de Matemáticas donde aparecen situaciones concretas con unos datos prefijados. Un ejemplo de este tipo de tareas sería: *Determinar la diagonal de un paralelepípedo rectangular dados su longitud, su ancho y su altura* (Polya 1945, p. 29).

● El modelo de Selveratnam

Este autor enfoca la resolución de problemas como la obtención de una información nueva a partir de unos datos. Para conseguir este propósito hace falta seleccionar leyes y principios almacenados en la memoria (conocimiento conceptual) junto con la utilización de la estrategia adecuada (conocimiento del proceso). El autor llama la atención sobre la dificultad de almacenar "la información" en la memoria recomendando recurrir al procedimiento de memorizar sentencias o ecuaciones y en este último caso insiste en que se haga únicamente con las ecuaciones fundamentales.

Selveratnam y Frazer, (1982) en su libro *"Problem Solving in Chemistry"*, un clásico en este campo, hicieron una propuesta para enseñar a resolver

problemas. Una versión más elaborada de este modelo fue presentado posteriormente componiéndose de las siguientes fases (Selveratnam 1990):

1. Manejo de datos

- Identificar la información dada en el enunciado así como las condiciones límite
- Dar un símbolo explícito a cada una de las variables identificadas en el punto anterior
- Organizar de forma sistemática toda la información mediante los símbolos adjudicados, a fin de obtener una visión coordinada de todo el problema (gráficas, tablas)

2. ¿Cómo empezar?

- Identificar la cantidad física que tiene que ser calculada y escribir la ecuación que la define. Seleccionar otras ecuaciones que puedan estar relacionadas con lo que buscamos.
- Suprimir las ecuaciones que sean inapropiadas de acuerdo con las condiciones declaradas o implícitas del problema.
- Seleccionar, para comenzar, la ecuación que relacione con el mayor número de los datos suministrados.

3. ¿Como proseguir?

- Reordenar la ecuación dejando en el lado izquierdo, únicamente la magnitud buscada.
- Identificar las constantes físicas y buscarlas en las tablas.
- Reemplazar las variables desconocidas que aparecen en la ecuación por las apropiadas.

En caso de no obtener la ecuación deseada

- Usar otras ecuaciones como punto de partida
- Usar otras ecuaciones para reemplazar las variables desconocidas.
- Hacer algunas suposiciones que simplifiquen el problema.

El autor recomienda entrenar a los alumnos en lo que él denomina "*mapa direccional de la solución del problema*", representación gráfica de la solución global del problema. En el citado artículo de 1990 aparece, a modo de

ejemplo, mapa que aparece en la Figura 1.2. correspondiente a la resolución del siguiente problema: *Calcular la densidad de un gas conociendo su masa y su volumen.* (Ver Figura 1.2)

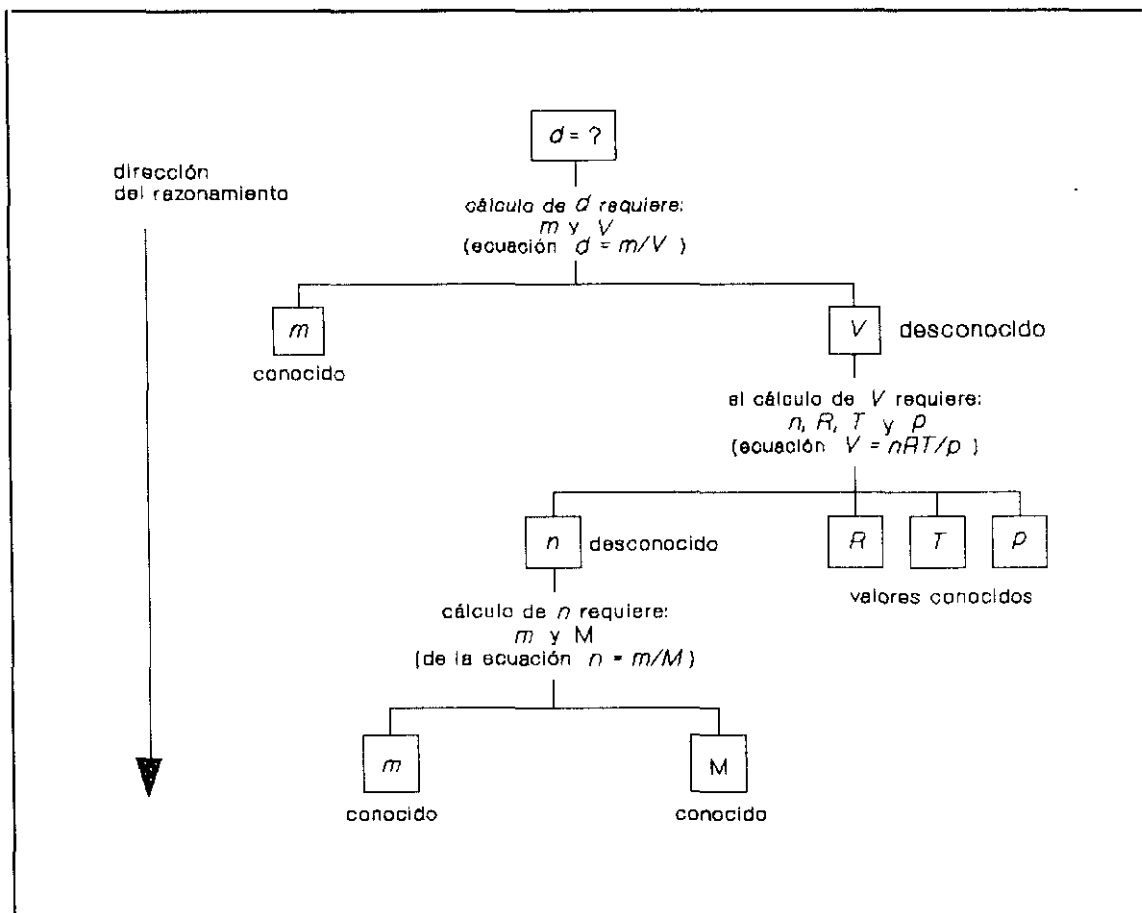


FIGURA 1.2. Mapa direccional de la solución de un problema (Selveratnam, 1990)

- **El modelo PAM (Programa de Acciones y Métodos)**

Esta propuesta corresponde a Mettes et al. (1980, 1981) y a partir de ella, los autores desarrollaron el modelo **S.A.P. (Aproximación Sistemática a la Resolución de Problemas)** de amplia repercusión en este campo de investigación. La orientación de estos modelos es bastante coincidente con las aportaciones ya

comentadas de G. Polya y en este sentido, su objetivo principal es la transformación de problemas cuantitativos de ciencias en problemas estándar cuya solución se "reconoce".

De forma genérica las fases principales de este modelo se presentan en la Figura 1.3.

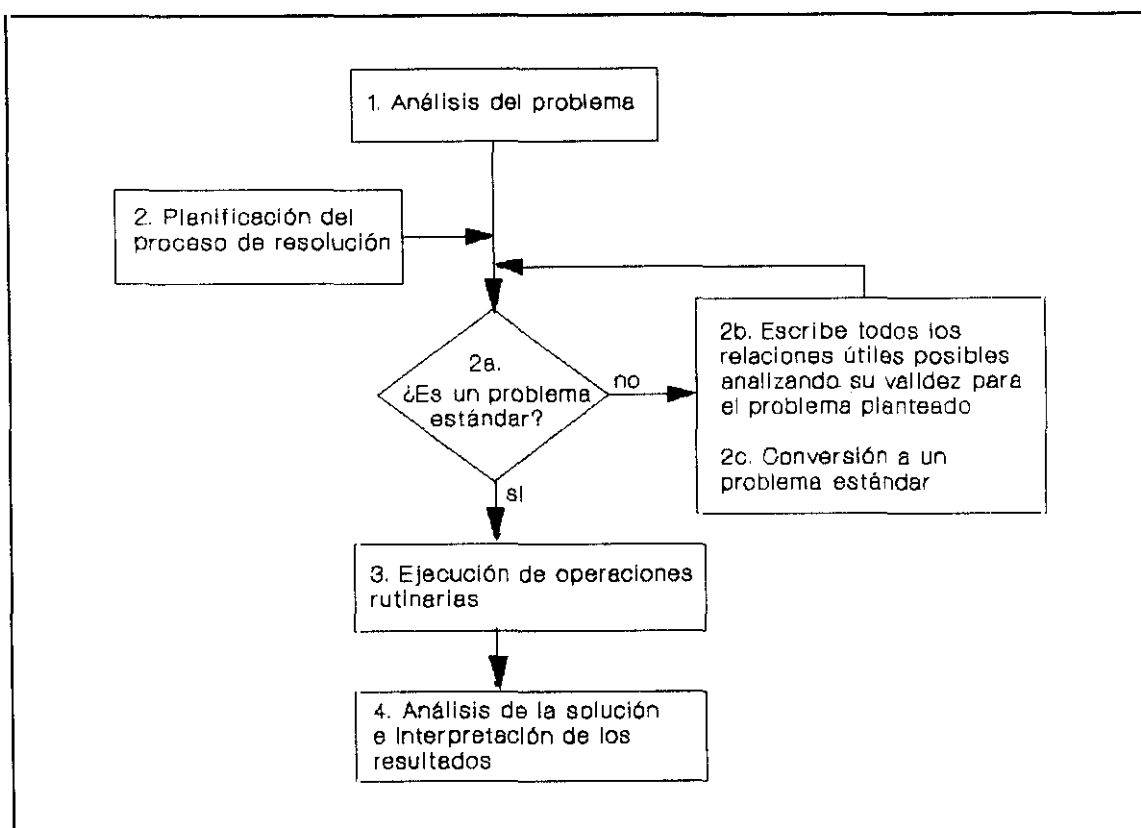


FIGURA 1.3. Fases principales del P.A.M. (Mettes et al., 1980)

Como se desprende del esquema, la fase 2 incluiría decidir si el problema es estándar o no, es decir, si puede ser resuelto mediante operaciones rutinarias. En caso de que esto no ocurra hay que realizar operaciones de transformación. Mettes et al. describen cuidadosamente como hay que abordar cada una de las

fases y muy especialmente la que estamos comentando ya que va a permitir transformar el "*problema*" en un problema estándar.

Los autores han aplicado su modelo, inicialmente a problemas de Química (Mettes et al., 1980) y posteriormente realizaron una adaptación para un curso de Termodinámica (Mettes et al., 1981) donde hicieron un desarrollo pormenorizado del modelo S.A.P. con el fin de instruir a los alumnos. La evaluación de la aplicación del modelo mediante estudios comparativos con grupos control fue, en opinión de los autores, muy positiva, tanto en lo referente a aspectos cualitativos como cuantitativos del proceso de resolución. Posteriormente se han realizado aplicaciones en Electricidad y Magnetismo con resultados similares (Weeren et al. 1980, citados por Mettes et al. 1981) existiendo también adaptaciones para problemas de tipo cuantitativo en Química (Kramers-Pals et al. 1983).

En opinión de algunos autores, el planteamiento que acabamos de describir es el genuino "modelo de etapas" próximo a los planteamientos de la Inteligencia artificial.

Para terminar este apartado, comentar que enfoques como los que hemos descrito han sido criticados desde diferentes puntos de vista que sintetizamos a continuación:

- Los métodos propuestos inciden excesivamente en el adiestramiento de los estudiantes en técnicas rutinarias que no favorecen su desarrollo cognitivo.

- El tomar los datos como punto de partida favorece un tratamiento operativista que impide un análisis reflexivo sobre el problema planteado.

-En los modelos que hemos desarrollado subyace una visión empirista de la metodología científica que considera los datos como punto de partida y la "solución" del problema como "puente" entre datos e incógnita.

1.3.3. PROPUESTAS BASADAS EN PLANTEAMIENTOS INVESTIGATIVOS.

Dentro de este apartado vamos a comentar algunas propuestas relacionadas con la resolución de problemas dentro de un enfoque que podríamos llamar "*investigativo*" y que, en nuestra opinión, está más cercano a las concepciones actuales de la Ciencia y de su transmisión a través del proceso de enseñanza-aprendizaje.

- **El modelo propuesto en el proyecto APU**

El proyecto APU (Assessment of Performance Unit) nació con la finalidad de evaluar el nivel científico de los escolares en Gran Bretaña. La perspectiva de este proyecto sobre la Ciencia es concebir ésta como una materia experimental dedicada fundamentalmente a **resolver problemas** y en ese sentido, han definido seis categorías, en el contexto de problemas experimentales, para evaluar los procesos involucrados en la citada resolución. Las categorías son:

Categoría 1: Uso de la representación simbólica

Categoría 2: Uso de aparatos e instrumentos de medida.

Categoría 3: Observación.

Categoría 4: Interpretación y aplicación.

Categoría 5: Planificación de investigaciones.

Categoría 6: Realización de investigaciones.

La **Categoría 6**, se considera como una síntesis de todas las destrezas necesarias para resolver problemas. El alumno, para llevarla a cabo, poner en marcha todas sus capacidades científicas.

El diseño que presentan los autores para esta categoría es un modelo de etapas representado por el diagrama que aparece en la Figura 1.4.

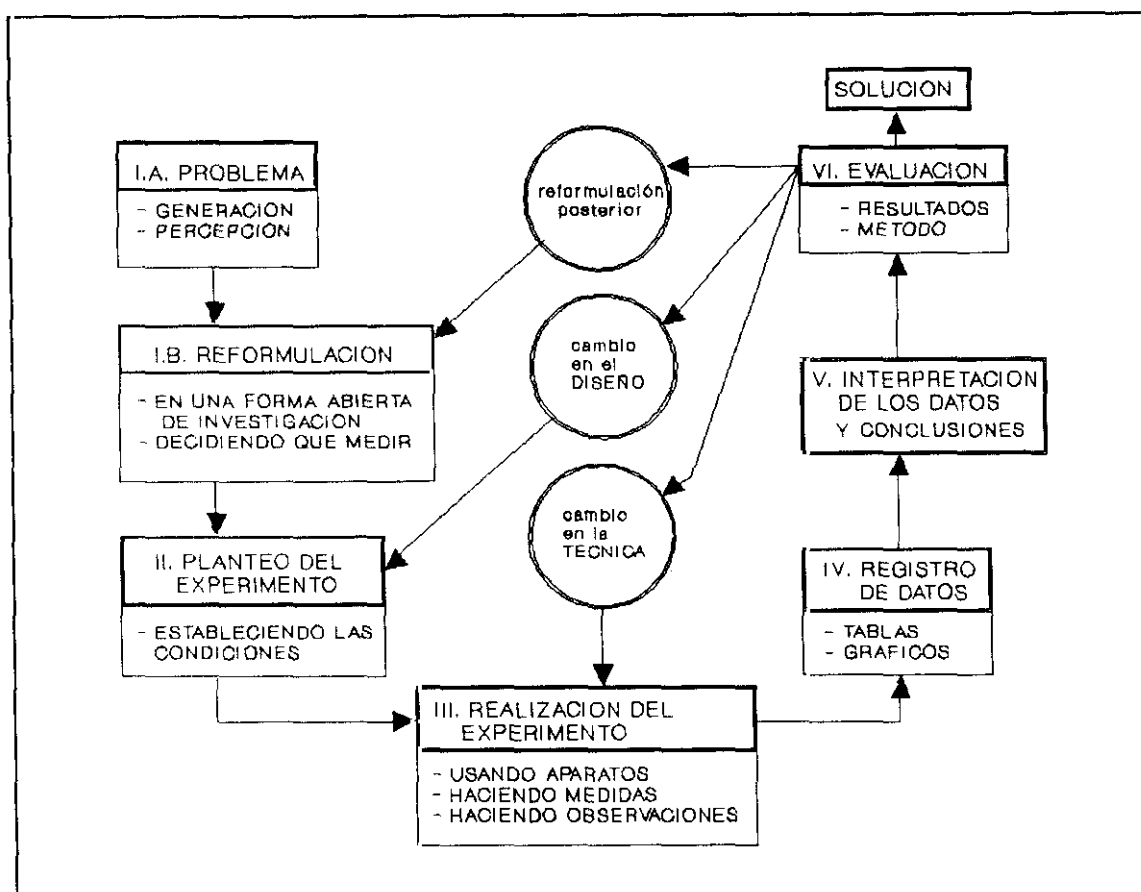


FIGURA 1.4. Diagrama de una investigación (A.P.U., 1984)

Para los problemas de lápiz y papel, las **fases II, III y IV** serían sustituidas por el diseño de estrategias y la resolución del problema a la luz del cuerpo teórico necesario. Como se puede observar, es un modelo cíclico donde el

análisis o evaluación de resultados lleva a un replanteamiento a diferentes niveles: reformular de nuevo el problema, cambiar el diseño y/o la realización del mismo.

● El modelo **PROPHY**

Las siglas **PROPHY** correspondientes a: Enseñanza de una metodología de Resolución de Problemas de Física, es una propuesta elaborada por uno de los equipos que investigan sobre enseñanza de la Física en la Universidad de París 7 (Caillot y Dumas-Carre, 1987).

El modelo de Resolución de Problemas-centrado en la Mecánica- que han desarrollado estos autores, consta de un conjunto de fases para cuyo establecimiento se han tenido en cuenta tres características: las acciones o procesos cognitivos puestos en juego, el tipo de conocimientos utilizados en cada una de las fases y el "producto " obtenido en cada una de ellas. En el cuadro que aparece en la Figura 1.5, se presenta un esquema del modelo.

Una visión superficial del esquema puede llevar a interpretarlo como un modelo lineal en que una fase sigue a la otra. Sin embargo, Caillot y Dumas llaman la atención sobre el carácter cíclico de la propuesta ya que en cualquier momento se puede realizar un bucle "hacia atrás" para retomar el proceso. Los autores han diseñado, dentro del proyecto de enseñanza, una serie de materiales debidamente contrastados que, en su opinión, cumplen los siguientes requisitos:

-Los alumnos son preparados fundamentalmente para tomar decisiones conscientes y racionales.

FASES	PROCESOS COGNITIVOS	CONOCIMIENTOS A UTILIZAR	PRODUCTOS OBTENIDOS
<ul style="list-style-type: none"> • Comprensión Traducción 	<ul style="list-style-type: none"> - Lectura del enunciado. - Análisis de datos. - Inferencias inmediatas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Conocimientos declarativos generales. - Conocimientos declarativos en dominios no formalizados. 	<ul style="list-style-type: none"> - Representación cualitativa de la situación física parcelada incluyendo el final del problema.
<ul style="list-style-type: none"> • Movilización 	<ul style="list-style-type: none"> - Selección desde la base de conocimientos. - Comparación/Diferenciación de la representación parcelada. - Elección del principio a utilizar. 	<ul style="list-style-type: none"> - Conocimientos declarativos en un dominio: definiciones, relaciones, condiciones de aplicación (forma cualitativa) 	<ul style="list-style-type: none"> - Representación global cualitativa y principios a utilizar.
<ul style="list-style-type: none"> • Instanciación 	<ul style="list-style-type: none"> - Eliminación de las informaciones no útiles. - Elección de estrategias. - Particularización a la situación concreta de los principios y leyes. 	<ul style="list-style-type: none"> - Conocimientos declarativos de dominio, relaciones cuantitativas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Representación física, espacial y temporal. - Representación formalizada (ecuaciones).
<ul style="list-style-type: none"> • Ejecución 	<ul style="list-style-type: none"> - Elección y ejecución de procedimientos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Algoritmos de tratamientos de datos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Resultados, refutaciones y cuestiones.

FIGURA 1.5. Modelo prescriptivo de resolución de problemas. Propuesta PROPHY. (Gaillot y Dumas-Carré, 1987)

-El entrenamiento deja libertad a los estudiantes para escoger las estrategias de resolución más apropiadas.

-Las herramientas suministradas y las estrategias utilizadas se convierten para el alumno en "saberes metodológicos" que colaboran a construir los "saberes conceptuales".

Concluyen los autores que el trabajo con estos materiales favorece que los estudiantes se familiaricen con el modo de hacer de los físicos: construyen una representación del problema, organizan la información y planifican la resolución de forma coherente desde un punto de vista científico.

●La propuesta de R.Garret: importancia de los aspectos creativos

Este autor, más que hacer una propuesta concreta sobre como enseñar a resolver problemas dentro del aula, hace una defensa de un conjunto de principios que los profesores deberían tener en cuenta para realizar su trabajo en este campo. Por su interés para nuestra investigación vamos a discutir algunos de ellos.

El primer concepto manejado por este autor es el de *creatividad* asociado al proceso de resolución de problemas como resultado de la presencia de dos componentes: *originalidad* y *utilidad* combinadas tal como se aprecia en la Figura 1.6. De acuerdo con esta idea, la resolución ideal de un problema, desde el punto de vista de la creatividad, se producirá cuando incluya utilidad y originalidad en la misma proporción (Garret, 1987, 1988).

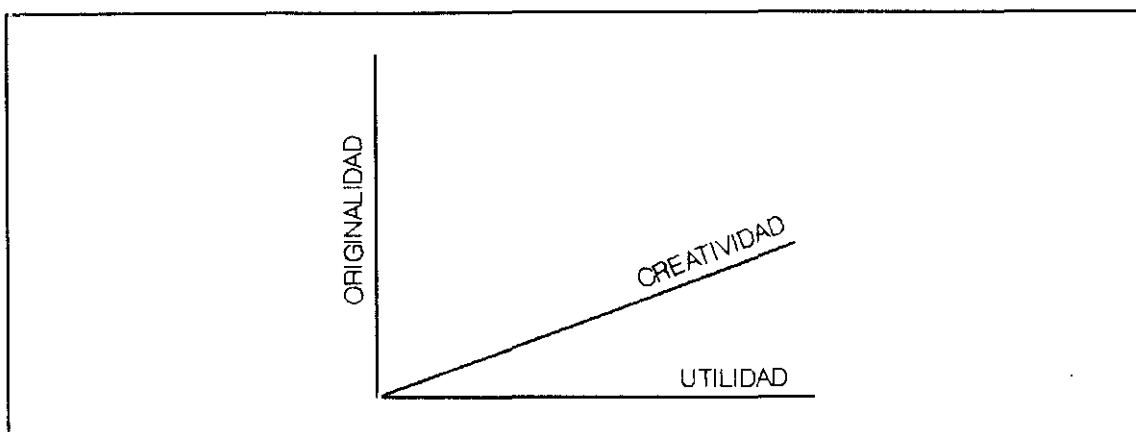


FIGURA 1.6. Relación entre originalidad, utilidad y creatividad. (Garret, 1988)

La relación entre creatividad y resolución de problemas ha sido defendida por numerosos autores procedentes del campo de la Psicología (Guilford, 1976; Romo, 1987.....) e incluso algunos de ellos como Calkins et al. (1984), (citado por López Rupérez, 1991) han desarrollado modelos de resolución donde han incorporado aspectos generales del pensamiento creativo.

El siguiente punto de discusión estaría en torno a los diferentes tipos de problemas, donde R. Garret distingue entre *rompecabezas (puzzles)* y *problemas verdaderos*. Los primeros se pueden solucionar dentro de un paradigma establecido y en general el resolvente sabe cuando ha llegado a una respuesta. En este tipo de problemas el aspecto *utilidad* de la *creatividad* tiene mayor peso que el aspecto de *originalidad*. Para "atacar" los llamados *problemas verdaderos*, él que resuelve tiene que salirse de los principios establecidos, reinterpretarlos y en último caso proponer un paradigma nuevo. Usualmente el problema va a admitir varias soluciones.

Unida a esta clasificación aparece otra cuestión importante: la situación de mayor interés para las personas en general y para los alumnos en particular, va a ser la zona fronteriza entre rompecabezas y problemas. En opinión del autor hay una *zona de interés óptimo* y es en esta zona donde la resolución de problemas va a producir un *aprendizaje significativo* -en términos de Ausubel- ya que, el material aprendido va a encajar en los esquemas cognoscitivos del que aprende. Esta aportación aparece de forma gráfica en la Figura 1.7.

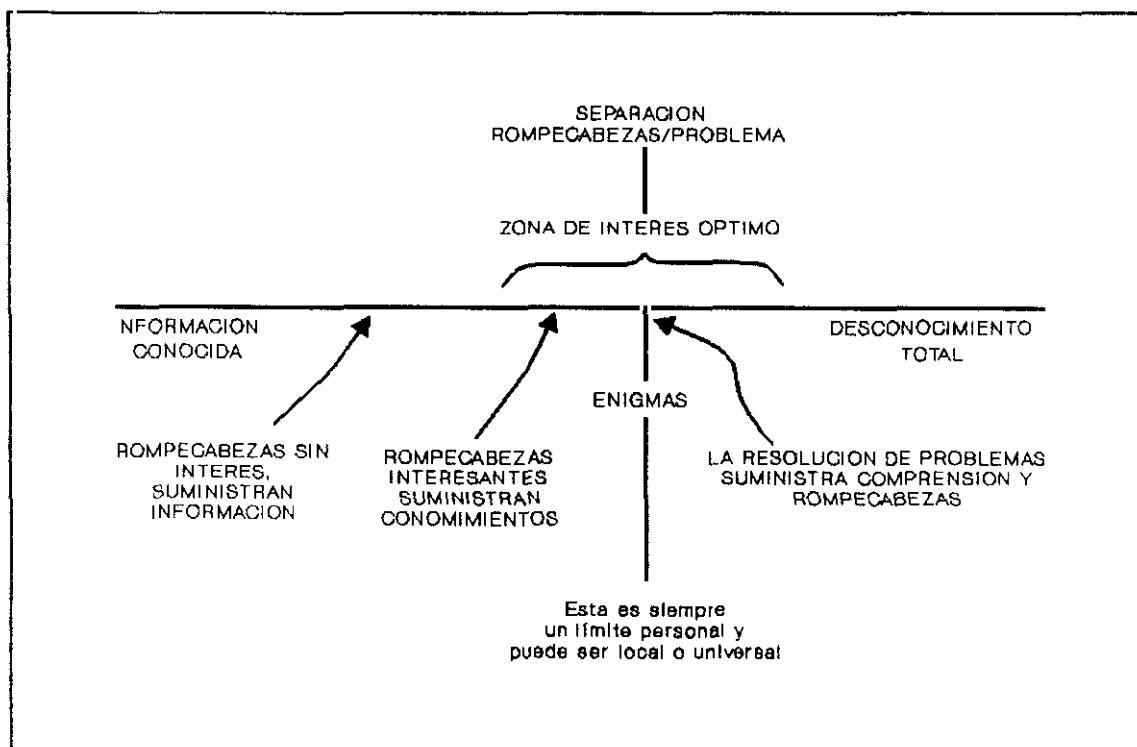


FIGURA 1.7. Relación entre problemas y rompecabezas. (Garret, 1988)

En las clases de ciencias se realizan normalmente actividades tipo *rompecabezas* y en este sentido, R. Garret hace un llamamiento para que estos *rompecabezas* sean **abiertos** si no queremos correr el riesgo de anular en nuestros alumnos toda su capacidad de ser originales En palabras del autor:

"Se debe encontrar un equilibrio, suministrando rompecabezas abiertos y problemas verdaderos en los que alumnos y profesores no conozcan necesariamente los resultados y donde el "éxito" no sea absoluto. El suministro de dichas experiencias supondrá al menos los siguientes progresos: 1) se fomentarán verdaderos intentos de llegar a una comprensión real de los aspectos planteados. 2) se podrá ejercer la originalidad; 3) se fomentará una verdadera formulación de hipótesis; 4) se generarán rompecabezas que automáticamente caerán en la zona de interés óptimo; 5) se fortalecerá una actitud mucho más abierta, flexible y realista hacia los logros de la ciencia; y 6) se logrará una enseñanza a través de los procesos científicos" (R.Garret, 1988, p228).

La separación *rompecabezas/problemas* está íntimamente ligada a las características individuales de los sujetos. En consonancia con otros autores, R.Garret (1989), opina que una de estas diferencias puede ser atribuida a los distintos estilos cognitivos que caracterizan a los individuos. Si retomamos la idea de creatividad defendida por este autor, es interesante destacar que algunos investigadores han relacionado el estilo dependencia-independencia de campo con una dimensión cualitativa de la **creatividad** denominada **flexibilidad de pensamiento**- en el marco de la teoría de Guilford-, definida como *"la habilidad de abandonar viejos caminos en el tratamiento de los problemas y llevar el pensamiento por nuevas direcciones"* (M. Romo,1987, p178). Volveremos sobre

este aspecto en el **Capítulo 5** dedicado a la influencia en la resolución de problemas, dentro del contexto educativo, de las diferencias individuales que presentan los sujetos.

1.4. UNA PROPUESTA DE RESOLUCION DE PROBLEMAS DE LAPIZ Y PAPEL COMO ACTIVIDAD DE INVESTIGACION

Desde hace aproximadamente unos diez años, el equipo de investigación de D. Gil, ubicado en la Universidad de Valencia, ha desarrollado un modelo para la enseñanza de la resolución de problemas que podemos encuadrar dentro de los que hemos denominado "**modelos investigativos de resolución de problemas**". La propuesta, iniciada por Daniel Gil y Joaquín Martínez-Torregrosa, ha sido aplicada tanto con alumnos de Bachillerato como con profesores en formación inicial o permanente obteniéndose, en cualquiera de los casos, resultados muy alentadores. Este hecho nos ha animado a utilizarla en la investigación que ahora presentamos y como consecuencia de ello, vamos a realizar una descripción detallada de la misma así como una exposición razonada de los motivos por los cuales la hemos elegido.

1.4.1. ASPECTOS GENERALES

El modelo que vamos a describir está fundamentado en la comparación entre como resuelven los científicos los "problemas" que se les presentan en el marco de su trabajo, y el procedimiento que debe utilizarse dentro de las clases de Física y Química para que los estudiantes aprendan a resolver sus propios "problemas". Un planteamiento de este tipo ha llevado a los autores a precisar algunas de las características de la llamada "investigación científica" recogiendo

para ello aportaciones de diferentes epistemólogos de la Ciencia: Bunge, Kunh, Chalmers.... entre los cuales existe un amplio consenso acerca del tratamiento que los científicos dan a los problemas. Gil y colaboradores los sintetizan de la siguiente forma:

- En primer lugar el rechazo de la idea de "Método Científico" como conjunto rígido de reglas que se aplican mecánicamente.

- La superación del empirismo unida a la exaltación del papel de los paradigmas teóricos en la producción de conocimientos.

- Los problemas científicos son más bien "situaciones problemáticas" y confusas. Hay que formularlos de manera precisa tomando determinadas opciones de cara a poder acotarlos y simplificarlos. Estas opciones tienen que darse dentro de un cuerpo teórico de conocimientos.

- Para resolver los problemas no se razona en términos de certeza sino en términos de hipótesis que evidentemente están apoyadas en conocimientos previamente adquiridos.

- Los investigadores no se encuentran con los datos como punto de partida sino que éstos, se buscan en función de las hipótesis hechas y de la estrategia de resolución que se va a seguir.

- Una característica fundamental del trabajo científico es poner en cuestión los resultados obtenidos lo cual va a conducir a revisiones sistemáticas del proceso de resolución: hay que comprobar la coherencia de los resultados con las hipótesis hechas.

- Por último, destacar el carácter social y colectivo del desarrollo científico señalando que la investigación responde cada vez en mayor escala a estructuras institucionalizadas donde los individuos se integran en equipos de trabajo.

Todas estas ideas están en el origen de la propuesta que vamos a analizar y tienen en ella importantes implicaciones como veremos a lo largo de los apartados siguientes.

Una cuestión previa sumamente relevante es la que se refiere al tipo de enunciado ya que, los problemas que se proponen tienen un **enunciado abierto** que no incluye datos de tipo numérico. Este tipo de tareas representan situaciones problemáticas que van a permitir a los estudiantes desarrollar procesos

de resolución más ricos y complejos que cuando se enfrentan a problemas-ejercicio de enunciado cerrado. Además, trabajar con tareas como la que se propone, fomentará en los resolventes aspectos relacionados con la **creatividad**, en los términos descritos en el apartado anterior por R. Garret debido a que este tipo de problemas podríamos considerarlos situados en la frontera entre "rompecabezas" y "problemas verdaderos" .

1.4.2. DESCRIPCION DEL MODELO DE RESOLUCION

Para abordar la resolución de problemas de las características que estamos comentando, los autores proponen entrenar a los alumnos, en el marco de las clases de Ciencias, en una metodología de trabajo que incluya las siguientes etapas (Gil y Martínez-Torregrosa, 1983, 1987):

- 1) Análisis cualitativo del problema
- 2) Emisión de hipótesis
- 3) Diseño de posibles estrategias de resolución
- 4) Resolución del problema
- 5) Análisis de resultados

En opinión de Gil et al. estas orientaciones

"no constituyen un algoritmo que pretenda guiar paso a paso la actividad de los alumnos. Muy al contrario se trata de indicaciones genéricas destinadas a llamar la atención sobre ciertos vicios metodológicos : la tendencia a caer en operativismos ciegos o a

pensar en terminos de certeza y no de hipótesis, lo que se traduce en no pensar en posibles caminos alternativos de resolución o en no poner en duda y analizar los resultados " (Gil et al. 1988 b, p135)

A continuación vamos a describir cada una de las etapas de trabajo citadas a la luz de las investigaciones realizadas en este campo. Nuestra descripción va a estar estructurada alrededor de la siguiente idea: **la metodología de trabajo propuesta está más acorde con la resolución de problemas como actividad de investigación que las metodologías tradicionalmente desarrolladas en las clases de Ciencias.**

- **Análisis cualitativo del problema**

Existe un amplio consenso entre los expertos en el tema, a la hora de reconocer que la resolución de cualquier problema comienza por una aproximación cualitativa a la situación; este paso o etapa aparece en todas las propuestas metodológicas que ya hemos comentado anteriormente. De hecho cuando un "experto" se enfrenta a un problema comienza siempre con un estudio cualitativo del mismo en el sentido de acotarlo, simplificarlo y analizar cual es el planteamiento que se le propone. En la misma línea, Gil et al. consideran que la eliminación de los datos en los enunciados obliga a analizar y modelizar las situaciones problemáticas ya que impide pasar directamente a un tratamiento operativo. Los resultados de sus investigaciones han comprobado que efectivamente, una vez roto el hábito del operativismo irreflexivo, los alumnos realizan este tipo de análisis. (Martínez-Torregrosa, 1987; Ramírez,1990).

- **Emisión de hipótesis**

Esta etapa de la resolución marca importantes diferencias con las distintas propuestas realizadas por otros autores ya comentadas en el apartado anterior. Frente a la utilización de algún tipo de algoritmo aplicable a problemas tipo, en el modelo que estamos comentando se hace hincapié en que los alumnos, a partir del análisis cualitativo realizado, comiencen a hacer algún tipo de conjeturas que darán lugar posteriormente a una posible emisión de hipótesis.

En este momento del proceso, los estudiantes están en condiciones de reflexionar acerca de las variables que van a influir en el resultado y la naturaleza de esa influencia. De esta forma, las hipótesis orientarán toda la resolución permitiendo, posteriormente, realizar un análisis riguroso de los resultados. La posibilidad de que los alumnos hagan algún tipo de estimación a propósito del resultado aparece en otros modelos de resolución pero sin el papel destacado que juega en esta propuesta. En opinión de los autores, los problemas **sin datos numéricos** en los enunciados obligan a los resolventes a pensar en términos de hipótesis que, a modo de tentativas, van a ser ensayadas. Precisamente las hipótesis emitidas son las que determinan lo que deben considerarse los datos necesarios para la resolución del problema en contra del procedimiento de tomar los datos como punto de partida.

Dentro de esta etapa, el equipo de Daniel Gil destaca la relevancia de trabajar sobre casos límite -con claro sentido físico- y de fácil interpretación por parte de los alumnos. Estos casos van a colaborar también a un análisis fiable de resultados.

- **Diseño de estrategias y resolución del problema**

En este modelo, las estrategias de resolución se consideran construcciones tentativas escogidas a partir del análisis del problema y de las hipótesis que se han emitido previamente. Una planificación correcta sobre las estrategias a utilizar impide un tratamiento de tipo ensayo/error aunque sin olvidar que esta fase de la resolución tiene que enfrentarse de un modo muy flexible, de tal forma que permita a los estudiantes "maniobrar" cuando se encuentren con un obstáculo insuperable. Siempre que sea posible, se procurará abordar el problema usando diferentes estrategias siendo este procedimiento extremadamente útil a la hora de analizar los resultados ya que, las coincidencias obtenidas, van a permitir mostrar la coherencia del marco teórico utilizado.

Otra cuestión en que el grupo de D. Gil hace hincapié, es la necesidad de que los alumnos, de la misma forma que los científicos, verbalicen lo más posible los procesos de resolución que están realizando, alejándose como consecuencia de operativismos carentes de significado físico. La verbalización de los procedimientos favorece en grado sumo tanto las revisiones críticas como el diagnóstico de errores.

Para terminar la descripción de esta fase indicar, que la falta de datos numéricos en el enunciado, favorece la resolución algebraica del problema lo cual no excluye que una vez obtenida la solución, se sustituyan valores numéricos sacados preferentemente de situaciones reales: coches, marcas deportivas, aparatos eléctricos.... El uso de estos datos va a permitir tener otro tipo de criterios a la hora de analizar la información obtenida (orden de magnitud del resultado, unidades....).

● Análisis de resultados

El análisis de resultados constituye, en opinión de los autores, un aspecto esencial del proceso. No se trata únicamente de comprobar si ha habido posibles errores en la resolución, sino de lo que algunos autores llaman "verificación de la consistencia interna" del proceso realizado es decir, analizar la información obtenida a la luz de las hipótesis emitidas haciendo hincapié en la comprobación de las situaciones límite (Reif y Larkin, 1991). Un análisis riguroso va a permitir comprobar si la situación obtenida es correcta o si por el contrario, tenemos que proceder a la revisión total o parcial del proceso.

Para terminar, los autores afirman que:

"De la misma forma que en las verdaderas investigaciones, el análisis de los resultados de un problema, es normalmente origen de nuevos problemas. Sería necesario que los alumnos llegasen a considerar este aspecto como una de las derivaciones más interesantes de la resolución de problemas" (Ramírez, 1990, p49).

En el apartado siguiente vamos a comentar las razones que nos han llevado a escoger en nuestra investigación la propuesta metodológica que acabamos de describir. En el **Capítulo 7** procederemos a describir el trabajo de campo que hemos llevado a cabo tomando como base esta propuesta. Comentaremos con detalle la metodología utilizada dentro del aula destacando también, las principales dificultades que los estudiantes han encontrado a lo largo del proceso.

1.4.3. RAZONES DE LA ELECCION.

Existen numerosas razones para trabajar con el **modelo de resolución de problemas** descrito en el apartado anterior. Tomemos como punto de partida las críticas realizadas a los modelos de resolución basados en algoritmos de resolución aplicados generalmente a problemas de enunciado cerrado- y que tal como recogíamos en el apartado anterior eran:

-Los métodos propuestos inciden excesivamente en el adiestramiento de los estudiantes en técnicas rutinarias que no favorecen su desarrollo cognitivo.

-El tomar los datos como punto de partida favorece un tratamiento operativista que impide un análisis reflexivo sobre el problema planteado.

-En los modelos que hemos desarrollado subyace una visión empirista de la metodología científica que considera los datos como punto de partida y la "solución" del problema como "puente" entre datos e incógnita.

En términos generales podemos constatar que la propuesta de trabajo de Gil y colaboradores, supera ampliamente todas estas críticas ya que, como se puede constatar en la descripción presentada a lo largo del apartado anterior, utilizan como pilares fundamentales de su metodología de resolución de problemas, premisas contrarias a las que aparecen en los modelos que estamos criticando.

Si procedemos a fijarnos concretamente en los objetivos básicos que nos hemos propuesto en nuestra investigación, el modelo de trabajo escogido tiene,

en nuestra opinión, dos características fundamentales que nos van a permitir abordarlos. Estas características son:

- **Su capacidad para promover en los estudiantes un posible cambio conceptual enmarcado en la teoría constructivista del aprendizaje.**

- **Las posibilidades que ofrece para estudiar la incidencia de las diferencias individuales de los estudiantes en el proceso de resolución.**

La justificación del primer punto será desarrollada con detalle al final del **Capítulo 2**, donde presentaremos las aportaciones teóricas más interesantes que se han realizado desde la perspectiva que podemos llamar, de forma genérica, "constructivista" en la cual podemos enmarcar todo nuestro trabajo.

En el presente apartado vamos a comentar, en primer lugar, aspectos relativos a la validación del modelo utilizando los resultados aportados por sus autores y en segundo lugar, profundizaremos en las razones de emplear este modelo con el fin de estudiar la influencia de las diferencias individuales sobre la resolución de problemas.

- **Validación empírica del modelo**

Aparte de otros trabajos de investigación, se han realizado en nuestro país dos tesis doctorales (Martínez-Torregrosa, 1987 y Ramírez, 1990) cuya finalidad ha sido validar el modelo que estamos comentando tanto en el ámbito del Bachillerato como en la formación inicial y permanente de profesores. En el primer trabajo, J. Martínez-Torregrosa ha desarrollado un estudio centrado en el área de Mecánica; en el segundo, L. Ramírez ha extendido la aplicación del

modelo al área de la Electricidad y de la Química General. Dada su similitud, vamos a presentar los resultados de ambos estudios de forma globalizada refiriendonos únicamente, por su interés para esta tesis doctoral, a los obtenidos con estudiantes de Bachillerato (3º **BUP** y **COU**), componentes del grupo experimental: Gexp. Estos estudiantes han sido entrenados en la resolución de problemas mediante la metodología de trabajo que venimos describiendo y los resultados obtenidos, siempre en comparación con los obtenidos en los grupos de control: Gcon, son los siguientes:

a) En primer lugar, los alumnos de los grupos experimentales han realizado una valoración crítica en un porcentaje muy superior a los alumnos de los grupos control, de la forma en que tradicionalmente se presentan en los textos los problemas resueltos. Esta crítica se considera un paso previo para plantearse posibles cambios. Además, los primeros dedican más tiempo a la contestación de este tipo de tareas.

b) Aparece también una clara diferencia, a favor del Gexp, en cuanto a la capacidad para superar el operativismo con que habitualmente se resuelven los problemas. Porcentajes elevados de los alumnos experimentales, utilizan las fases de trabajo que se les han propuesto estando en consecuencia, más familiarizados con aspectos esenciales del trabajo científico o en palabras de J. Martínez-Torregrosa (1987): *"Las formas de pensamiento más cualitativo y divergente, esenciales para evitar el operativismo han pasado a formar parte del modo en que los alumnos tratados resuelven problemas"* (Capítulo IX, p64).

c) Enfrentados a situaciones de examen, el Gexp obtiene resultados superiores estadísticamente significativos a los del Gcon. Estos resultados, en opinión de los autores son también de mayor "calidad", aumentando las

diferencias a favor del grupo experimental a medida que aumenta la dificultad del problema.

d) Los alumnos experimentales dedican más tiempo a la resolución de un problema antes de abandonarlo sin caer en la actitud habitual de "reconocer o abandonar".

e) Los alumnos del Gexp han realizado en general una valoración positiva del modelo ensayado en comparación con metodologías más tradicionales.

En síntesis, los resultados son muy positivos y corroboran el planteamiento inicial de los investigadores en el sentido de afirmar que, **una metodología como la propuesta va a tener un elevado nivel de eficacia con los estudiantes de Física de Bachillerato promoviendo en ellos un cambio metodológico y actitudinal.**

Además, y como comentábamos al principio, se han realizado experiencias de entrenamiento con grupos de profesores en formación inicial y permanente, tanto españoles como ingleses y franceses (Garret et al., 1990 y Gil et al. 1988a y 1991). El tipo de entrenamiento seguido se basa en un programa de actividades donde inicialmente se plantean preguntas relevantes tales como:

- ¿Qué entender por problema?
- ¿Cómo enfocar a resolución de un verdadero problema?
- ¿Qué es lo que en los enunciados habituales dificulta un tratamiento científico de la resolución de problemas y, en particular, quita todo sentido a la formulación de hipótesis?

En opinión de los investigadores, los grupos de profesores implicados han llegado a la conclusión de que los problemas hay que plantearlos como lo que són: **situaciones que, inicialmente, no se saben resolver**. La posible solución hay que concebirla como un proceso de investigación y en este sentido, admiten la incoherencia de la utilización de los datos como punto de partida:

"Los diferentes grupos de profesores con experiencias y antecedentes muy diferentes, han señalado lo absurdo de partir de datos sin una comprensión profunda, previa, de la situación problemática estudiada. Esta crítica constituye, desde nuestro punto de vista, un paso esencial para desbloquear la enseñanza habitual de los problemas y sus limitaciones" (Gil et al., 1988 a, p 10).

Una vez planteado el "problema" los profesores trabajan con el mismo modelo de resolución que hemos descrito para los estudiantes procediéndose a evaluar, al final del proceso, la valoración del mismo. En todos los casos los autores afirman que se **han conseguido diferencias significativas a favor de este planteamiento investigativo, cuando se comparan con la metodología utilizada habitualmente en nuestras aulas**.

En nuestra opinión, todos los datos aportados validan el modelo utilizado desde una perspectiva empírica, y este hecho justifica, aparte de todas las aportaciones teóricas realizadas, que lo hayamos utilizado en nuestra investigación.

- **Utilización del modelo para estudiar la influencia de las diferencias individuales.**

Como ya avanzamos en la **Introducción** de esta memoria uno de los objetivos que nos hemos planteado en nuestro trabajo, ha sido estudiar la posible influencia de las diferencias individuales en el proceso seguido por los estudiantes a la hora de resolver problemas de Física.

Para abordar el objetivo que hemos enunciado, partimos de que hoy día, es un hecho admitido por los investigadores en el campo de la Psicología y de la Didáctica, la existencia de diferencias entre los individuos para realizar determinadas tareas como pueden ser las implicadas en la **resolución de problemas** en Ciencias, y más en concreto en Física. A grandes rasgos, estas diferencias podemos encuadrarlas dentro de las teorías evolutivas de Jean Piaget, dentro de las aportadas más recientemente por la Psicología cognitiva en lo referente a los estilos cognitivos o, a modo de síntesis, en el marco de las teorías neopiagetianas enmarcadas en la escuela de Pascual-Leone, que han intentado integrar las dos aportaciones citadas. En el **Capítulo 5** de esta memoria desarrollaremos con cierto detalle estas teorías así como algunos resultados obtenidos recientemente en el campo de las Ciencias.

Asumidos los principios teóricos que hemos esbozado, y tal como avanzamos al principio de este apartado, otro de los motivos que nos ha llevado a elegir la metodología de resolución de problemas, es su posibilidad para estudiar la incidencia de las diferencias individuales. La metodología propuesta se presenta como un instrumento ideal para esta finalidad debido a la riqueza de sus matices: problemas de enunciado abierto que obligan a reestructurar la información, emitir hipótesis, controlar variables, utilizar diferentes estrategias de resolución y analizar los resultados. Esta diversidad de tareas, nos va a permitir estudiar con detalle las posibles diferencias que pueden adjudicarse a las características individuales de los estudiantes a la hora de resolverlas.

CAPITULO 2

ESQUEMAS CONCEPTUALES ALTERNATIVOS Y SU POSIBLE EVOLUCION

2.1. INTRODUCCION

Hasta mediados de los años 70, los trabajos sobre el aprendizaje de las Ciencias se apoyaban, en gran medida, en la teoría piagetiana del desarrollo cognitivo. A partir de la segunda mitad de esta década, las aportaciones de J. Piaget se han visto complementadas por las deducidas de un hecho relevante: la constancia empírica de que los alumnos, antes de acceder a la instrucción formal, han desarrollado un pensamiento propio sobre los fenómenos naturales comprobándose también que una gran parte de estas ideas permanecen inalteradas tras la enseñanza. Esta evidencia ha llevado a los investigadores y profesores de Ciencias a preguntarse sobre el origen de dichas ideas y su interferencia con los procesos de instrucción y en consecuencia, hay en este momento un gran interés por conocer cuáles son las ideas previas de los alumnos, ya que, según las teorías del aprendizaje, sólo se logrará que éste sea **significativo** -en términos de Ausubel- si se parte del conocimiento de estas representaciones para construir nuevos esquemas conceptuales. Todo conocimiento se debe a una asimilación activa del sujeto que acomoda sus propios esquemas cognoscitivos a ese nuevo conocimiento.

" De todos los factores que influyen en el aprendizaje, el más importante consiste en lo que el alumno ya sabe. Averígüese esto y enséñese en consecuencia " (Ausubel 1978, p389).

En este contexto toman relevancia las aportaciones que nos han llegado de dos puntos geográfica y culturalmente muy alejados: la escuela de Moscú representada emblemáticamente por L.S. Vygotsky, y la norteamericana a través de la figura de G.A. Kelly. Estos autores han realizado contribuciones muy interesantes acerca de los procesos de construcción del conocimiento habiendo colaborado sus teorías, de forma complementaria, al surgimiento lo que de forma genérica podríamos llamar **perspectiva constructivista del aprendizaje**.

Desde un punto de vista epistemológico, **el constructivismo tiene un concepto de la Ciencia como un proceso de interpretación de la realidad mediante la construcción de modelos o a partir de determinados paradigmas que la condicionan**. Esto significa considerar la Ciencia no tanto como un descubrimiento, sino como una construcción teórica para interpretar el mundo.

En el marco teórico del constructivismo, **aprender Ciencia es reconstruir los conocimientos partiendo de las propias ideas de los individuos, ampliándolas o modificándolas según los casos. Considerar el aprendizaje como cambio conceptual, es uno de los indicadores que definen actualmente la posición constructivista en el campo de la Didáctica de las Ciencias**. Otro aspecto, en nuestra opinión muy interesante, es que los teóricos de este modelo, consideran los contenidos conceptuales específicos de suma importancia frente a las corrientes que habían destacado la importancia de los procesos o destrezas científicas, (Millar y Driver, 1987).

En este capítulo vamos a exponer, en primer lugar, las aportaciones provenientes del campo de la Psicología ya comentadas realizando a continuación, una síntesis de las investigaciones procedentes de la Didáctica de las Ciencias acerca de las ideas alternativas que poseen los estudiantes,

especialmente las correspondientes al área de la Física. Terminaremos con una descripción de los modelos más relevantes sobre el cambio conceptual y la posibilidad de la resolución de problemas como instrumento para conseguirlo.

2.2. EL CONSTRUCTIVISMO, UNA TEORIA EMERGENTE

Dentro del marco teórico que estamos describiendo, consideraremos en primer lugar la obra de Jean Piaget. El carácter **constructivista** de las teorías piagetianas se pone de manifiesto si analizamos su aportación a la comprensión del mecanismo por el cual el sujeto construye su estructura mental y que podemos sintetizar en las siguientes afirmaciones:

- **Todo conocimiento es construido por los individuos al interactuar con el ambiente e intentar construir significados.**

- **Todo conocimiento es adquirido no por la internalización de significados dados desde fuera sino por la construcción, desde dentro, de representaciones e interpretaciones adecuadas.**

En esta línea podemos incluir a J. Piaget dentro de lo que genéricamente se pueden llamar **teóricos del cambio conceptual**. Propone este autor (1975), que las estructuras mentales se construyen mediante equilibrios progresivos entre un *mecanismo asimilador* y una *acomodación complementaria*. Cuando al sujeto le llega una información nueva por el proceso de **asimilación** la incorpora

a los esquemas que ya posee, si la nueva información entra en conflicto con los esquemas presentes se produce un estado de **desequilibrio** y el sujeto reaccionará modificando sus esquemas para adaptarlos a la nueva situación. Es decir, pondrá en marcha mecanismos de **acomodación** para recuperar el equilibrio intelectual. Este proceso dinámico que se desarrolla entre la asimilación y la acomodación recibe el nombre de **equilibración**. **El autor considera a los individuos no solo como constructores del contenido de las estructuras mentales, sino también como constructores de las mismas estructuras mentales que les permiten conocer y por lo tanto aprender.**

Para J. Piaget el mecanismo de equilibración es pues, el responsable de la construcción progresiva de las estructuras mentales y en este sentido el autor apuesta por un cambio estructural, es lo que J.I. Pozo et al. (1991), ha denominado una reestructuración global "*a la Piaget*". En este sentido, la teoría piagetiana de la equilibración tiene claras implicaciones para la enseñanza: **hay que someter al sujeto a conflictos cognitivos que, planteados en áreas de conocimiento específico, activen el proceso de equilibración.** Este proceso tendrá como consecuencia que se acelere en los individuos el desarrollo mental al mismo tiempo que se adquieren los aprendizajes .

Entre las aplicaciones de las teorías de J. Piaget que posteriormente se han realizado a la enseñanza de las Ciencias, habría que destacar la obra de los autores ingleses Shayer y Adey (1984), los cuales han utilizado la aportación de la escuela de Ginebra con la finalidad de diseñar taxonomías de objetivos, adecuadas a los distintos niveles cognitivos, para cada una de las disciplinas científicas. Estas taxonomías han permitido posteriormente elaborar propuestas curriculares. Los investigadores citados han planteado asimismo proyectos cuya

finalidad principal ha sido provocar en los estudiantes procesos encaminados a conseguir una aceleración cognitiva (Thinking Science, CASE Project, 1989).

Para completar las aportaciones básicas al enfoque constructivista del aprendizaje, vamos a exponer brevemente las ideas más relevantes de los autores que hemos citado en la **Introducción** de este capítulo: L.S. Vygotsky y G.A. Kelly.

Comenzaremos con Vygotsky cuya teoría descansa sobre la premisa fundamental de que **el desarrollo evolutivo de los sujetos, tiene lugar a nivel social, dentro de un contexto cultural determinado**. En consecuencia, el desarrollo conceptual hay que verlo como una interacción entre el aprendizaje escolar y la experiencia cotidiana, y en este sentido, su aportación sobre la construcción de conceptos científicos es de mención obligada.

Para este autor los conceptos espontáneos y los conceptos científicos se relacionan e influyen constantemente como parte de un proceso único. En su opinión, los primeros intentos de sistematización de la realidad los adquiere el alumno a través de su contacto con los conceptos científicos y son transferidos a los conceptos cotidianos, cambiando su estructura psicológica. Es decir, el dominio de los conceptos científicos propicia y eleva el nivel de los conceptos espontáneos. De esta forma **el paso de los conceptos espontáneos a los científicos no es solo el cambio conceptual de un concepto a otro, sino el paso de una forma de conceptualizar a otra esencialmente diferente** (Vygotsky, 1934).

L.S. Vygotsky asigna una gran importancia a la instrucción escolar y a la interacción del aprendiz con el adulto. Introduce el interesante concepto de **zona de desarrollo próximo** definida como

"la distancia entre el nivel de desarrollo real determinado mediante la resolución independiente de problemas y el nivel de desarrollo potencial estimado a través de la resolución de problemas bajo la guía de un adulto o en colaboración con compañeros más capaces"
(Vygotsky, 1978, p 84).

Esta franja de desarrollo potencial es precisamente el espacio de intervención educativa en el cual el niño va a poder aprender con la ayuda de personas expertas que van a mediar entre él y el objeto de conocimiento.

El punto que acabamos de comentar marca la diferencia más importante entre la teoría piagetiana y la vigostkiana. Piaget da preferencia al desarrollo sobre el aprendizaje, es decir, primero se produce el desarrollo y, sólo cuando esto ha sucedido, pueden producirse aprendizajes específicos. Por el contrario para Vygotsky es, a través del aprendizaje, como los individuos llegan a desarrollarse y en este sentido, la institución escolar va a jugar un papel fundamental en el desarrollo de las personas.

La otra aportación pionera sobre como se generan las ideas no solo en los niños, sino también en los adultos, es la perspectiva conocida con el nombre de *Psicología de los Constructos Personales* de G. Kelly (1955). Según el autor, **cada persona construye unas representaciones del mundo que le rodea con la finalidad de darle sentido, son los llamados constructos personales**. Estos hacen posible describir la experiencia presente y anticipar eventualidades futuras

a través de la construcción de modelos de prueba y de la evaluación de esos modelos en contraste con sus criterios personales. En este sentido, Kelly establece la metáfora del hombre-científico, de fuerte poder explicativo y que puede coincidir con la idea piagetiana del adolescente y el adulto como pensadores formales.

G. Kelly describió su postura epistemológica como **Alternativismo Constructivo** y en este marco, el *científico kellyano* es un constructivista. Aplicada al contexto educativo, esta visión constructivista del conocimiento suministra un apoyo relevante a los profesores que, interesados en la investigación de las ideas de los estudiantes, pretenden incorporar estos puntos de vista al diálogo enseñanza-aprendizaje, (Pope y Gilbert, 1983). En esta línea, las teorías de Kelly han proporcionado un marco muy potente a la hora de interpretar, dentro del campo de la educación, la extensión y persistencia de las ideas de los estudiantes.

Las ideas de Kelly han sido analizadas y ampliadas por G. Claxton (1984), quien afirma que las acciones e intuiciones de cada individuo surgen de teorías personales sobre el mundo. El alumno transpone a otros dominios de experiencia las ideas que establece a partir de ámbitos concretos construyendo así las llamadas por el autor **mini-teorías**. Es muy interesante la descripción que realiza este autor sobre que es una teoría y como funciona. Según Claxton, (1984) una teoría podríamos caracterizarla por una serie de afirmaciones de las cuales hemos destacado las siguientes:

- Una teoría es una descripción: es una forma de representar una cosa en términos de algo distinto para hacerla menos compleja y, por lo tanto, más predecible.
- La mejor teoría depende de lo que se quiera hacer. No existe una teoría "óptima" sobre nada.

- Las teorías no se pueden refutar. Si una teoría nunca es totalmente correcta, quiere decir se que tampoco se puede probar que sea "equivocada".

- Las teorías son siempre incompletas. Es propio de la naturaleza de una teoría ser incompleta, y por lo tanto, falible y limitada

A partir de estas premisas opina el autor que las **mini-teorías** personales nos permiten ajustar nuestras acciones a nuestros deseos y aspiraciones es decir, que el interés primordial del que aprende se centra en la "utilidad" de su teoría, en saber si funciona. Por el contrario el interés fundamental de un científico es saber si su teoría es "verdad", consistiendo su trabajo en buscar o crear una situación, por muy artificial que sea, que le revele los fallos y límites de su teoría, es decir, su "estatus". En este sentido Claxton matiza la metáfora de la persona como científico defendida por Kelly ya que, en su opinión, se producen comportamientos distintos no sólo en cuanto al objetivo a conseguir, sino también en el *modus operandis*.

El uso por los estudiantes de las mini-teorías cuando se le plantean problemas científicos podría explicar, al menos en parte, el origen de las denominadas concepciones espontáneas. Volveremos a manejar estas ideas en el apartado siguiente cuando hablemos precisamente del origen de las citadas concepciones.

Como comentábamos en la introducción, el **constructivismo** como teoría ha tenido una fuerte implantación en el campo de la Didáctica de las Ciencias donde, actualmente, numerosos autores han desarrollado propuestas de trabajo dentro de este marco teórico ligadas fundamentalmente a procesos de **cambio conceptual**. En los apartados siguientes vamos a tener ocasión de comentar algunas de ellas que, en nuestra opinión, han sido más relevantes para la

enseñanza de las Ciencias y particularmente para la enseñanza de la Física, objeto de la tesis doctoral que ahora presentamos.

No queremos terminar esta presentación general sin comentar la existencia de cierta polémica sobre la naturaleza misma del constructivismo ya que, según opinan diferentes autores, el consenso acerca del **modelo constructivista del aprendizaje** es más fuerte sobre los aspectos prácticos que sobre los teóricos. Así, en nuestro país, Aliberas et al.(1989), tras calificar al constructivismo como "*un cuerpo teórico fragmentado pero convergente* ", indican que el modelo teórico aún se encuentra en fase de discusión añadiendo que "*la investigación de un modelo teórico sobre el aprendizaje de las ciencias que sea aceptado por toda la comunidad investigadora, es un reto pendiente que estimula a realizar muchos esfuerzos*" (p 282). En la misma línea, otros autores han defendido la idea de que el constructivismo puede representar un modelo de como se aprende pero no ligado forzosamente a un determinado modelo de instrucción, (R. Millar, 1989). Actualmente el problema sigue abierto y así a lo largo de 1992 se ha producido una interesante polémica recogida en la revista Science Education, entre Von Glasersfeld (1989), autor situado en la corriente llamada "constructivismo radical", en este enfoque, mediante el conocimiento no se descubre un mundo independiente existente fuera de la mente que lo conoce y W.A. Suchting (1992), que bajo el explícito título "*Constructivisme Deconstructed*" hace una dura crítica a los principios básicos del constructivismo como teoría del aprendizaje.

2.3. LOS ESQUEMAS CONCEPTUALES ALTERNATIVOS DE LOS ESTUDIANTES EN EL CAMPO DE LAS CIENCIAS

El conjunto de investigaciones que vamos a describir presentan notables diferencias no solo metodológicas, sino también en lo que se refiere al estatus epistemológico que conceden a las ideas alternativas de los alumnos. Dividiremos los trabajos de acuerdo con el campo de procedencia de los autores.

2.3.1. APORTACIONES DESDE LA PSICOLOGIA COGNITIVA

Una contribución importante realizada en nuestro país desde el campo de la Psicología cognitiva es la desarrollada por J.I. Pozo y sus colaboradores (1991). Según estos autores el enfoque de **las concepciones alternativas** tiene una estructura de lo que en Psicología se llama **categoría natural** caracterizada por ser una entidad vaga, difusa y difícilmente definible a pesar de lo cual, pueden extraerse algunas características comúnmente aceptadas. En este enfoque hay dos preguntas claves:

¿Se trata de ideas aisladas o forman parte de una estructura conceptual común? y ¿En qué tipo de representaciones mentales están basadas?.

La contestación a la primera pregunta ha sido, en opinión del equipo de J.I.Pozo, variable y poco precisa. Lo más lejos que se ha llegado es a admitir que estas concepciones constituyen **estructuras mentales** o **esquemas** pero sin que el término adquiriera en este contexto el significado que se le atribuye hoy día en Psicología cognitiva. Para contestar a la segunda cuestión, estos investigadores han profundizado en la base de las ideas de los alumnos diferenciando tres posibles orígenes:

a) Origen sensorial: las concepciones espontáneas se formarán a través de la *percepción principalmente para dar significado a las actividades cotidianas*.

b) Origen social: las concepciones inducidas se forman a partir del entorno social del individuo. Los alumnos accederían a las aulas de ciencias con creencias socialmente inducidas sobre numerosos hechos y fenómenos.

c) Origen analógico: las concepciones análogas aparecen en dominios del conocimiento de los cuales no se tiene información previa. Se forman por procesos de analogía con concepciones potencialmente útiles en este dominio.

La clasificación anterior no implica que desde un punto de vista cognitivo los diferentes tipos de concepciones funcionen de forma separada ya que pueden estar en continua interacción. Cualquier tipo de aprendizaje y más concretamente el científico tendría que tener en cuenta la existencia de los tres tipos de concepciones.

En un intento loable de integrar los presupuestos piagetianos con la nueva corriente de los esquemas alternativos, J.I. Pozo y col. han puesto de manifiesto que ambos están centradas en las explicaciones de tipo causal que dan los alumnos cuando se enfrentan a fenómenos científicos. Tomando este hecho como punto de partida han desarrollado la **teoría del pensamiento causal** como un

posible modelo integrador con él que interpretar los datos aportados desde ambas perspectivas. En este marco las concepciones espontáneas tienen su origen en el funcionamiento cognitivo humano según el cual utilizamos el pensamiento causal para explicar lo que sucede a nuestro alrededor y hacer previsiones futuras (Pozo, 1987).

Para completar su marco teórico, el equipo de J.I. Pozo retoma la idea de **las teorías implícitas**, (en la línea ya comentada por nosotros cuando citamos a G. Glaxton en el apartado anterior), teorías que utilizan las personas para abordar el mundo que les rodea y que presentan claras diferencias con las denominadas científicas. Para los autores, estas **teorías implícitas o estructuras conceptuales específicas** coincidirían con las concepciones alternativas que poseen los estudiantes en un campo determinado de la Ciencia. Hacen hincapié en los rasgos estructurales comunes a las diferentes teorías implícitas (causalidad lineal y simple, relaciones cualitativas, cambio sin conservación) que, actuando como verdaderos **obstáculos epistemológicos**, deberían ser superadas por los estudiantes para poder evolucionar hacia las teorías científicas. Para terminar avanzan la idea de que, para superar estos obstáculos, sería necesario que los alumnos aprendan a utilizar ciertos *esquemas generales*, esquemas que podrían tener bastante en común con los *esquemas operatorios formales* enunciados por Inhelder y Piaget, (1955).

En la misma línea de tratar de unir toda la teoría de esquemas alternativos con la Psicología cognitiva, R. Cubero (1988) hace un intento de interpretación a partir de la **teoría de los esquemas** (Rumelhart y Norman, 1978) indicando que ésta, aporta un marco teórico general donde situar la investigación sobre representaciones de los alumnos. La autora realiza una síntesis de la citada teoría de la cual destaca los siguientes puntos:

1) Un esquema es un conjunto integrado de conocimientos o bloques de información organizada que constituyen estructuras generales de conocimiento para hacer posible la comprensión.

2) El procesamiento humano de la información depende de estas unidades básicas, los esquemas, que se emplean en los procesos de percepción e interpretación de la realidad, de memoria y recuperación de la información memorizada, de planificación y organización de la acción, y en general, de todo el funcionamiento cognitivo del individuo.

3) Los esquemas vienen caracterizados por ser construcciones sociales formadas en un medio socio-cultural determinado, las cuales conforman una estructura jerárquica, pueden contener conocimientos y/o reglas; permiten realizar conjeturas sobre las situaciones cuando la información es insuficiente y son muy estables en el tiempo resistiéndose a posibles modificaciones.

De todas las características enunciadas R. Cubero deduce que los conceptos de esquema y los marcos conceptuales de los alumnos son constructos equivalentes. Además la adquisición de conocimiento es, según la teoría de esquemas, un proceso básicamente **constructivo** que tiene importantes implicaciones en el campo de la enseñanza. Por un lado, **implica reconocer que el alumno "siempre sabe"**, es decir, que tiene esquemas propios (generalmente alternativos) sobre muchos de los conceptos que se van a explicar en clase, teniendo que ser estas ideas el punto de partida del aprendizaje. Por otro, **hay que concebir "los errores" de los estudiantes como estados o momentos del conocimiento a partir de los cuales, y por sucesivas construcciones, el alumno se acercará al conocimiento aceptado por la Ciencia.**

Para terminar, R. Cubero afirma que la teoría de los esquemas es adecuada a la hora de interpretar el hecho de que los procesos de instrucción no modifican generalmente los marcos conceptuales de los sujetos ya que, según esta teoría la nueva información permanecería "encapsulada" y podrán coexistir con los citados marcos.

2.3.2. APORTACIONES DESDE LA DIDACTICA DE LAS CIENCIAS

Hay un cierto nivel de dispersión en los investigadores a la hora de definir los esquemas alternativos de los estudiantes, pero a pesar de ello, todas coinciden en admitir algunas características comunes que constituirían, en términos de I. Lakatos (1978), el núcleo firme de este enfoque. Estas características son:

- Las ideas alternativas tienen una cierta coherencia interna, es decir, se pueden considerar estructuras mentales organizadas.

- A pesar de tener un cierto carácter personal son comunes en estudiantes de diferentes medios y edades existiendo en general unas pocas tipologías en las que pueden clasificarse la mayor parte de las concepciones alternativas en un área de conocimiento determinada.

- Presentan, en determinados casos, cierto paralelismo con ideas que se han defendido a lo largo de la historia de la ciencia.

- Son bastante estables y resistentes al cambio, por lo que muchas veces persisten después de haber recibido instrucción científica.

A pesar de este aparente consenso, hay algunos autores que cuestionan esta línea de investigación dudando incluso de la existencia de los esquemas alternativos de los estudiantes. Como ejemplo podemos citar a McClelland (1984) cuyos argumentos sintetizamos a continuación:

- Admitir que los alumnos tienen esquemas conceptuales de una cierta coherencia implica establecer un paralelismo con el comportamiento de los científicos que no tiene sentido.

- Los fenómenos físico-químicos no son relevantes para los seres humanos que no harán por tanto el enorme esfuerzo que supone conceptualizarlos.

- Las respuestas erróneas obtenidas por las investigaciones se deben a falta de interés y atención , y son simplemente construcciones "ad-hoc".

- Suponer un cierto paralelismo entre las ideas de los estudiantes con ideas precientíficas (por ejemplo la concepción aristotélica del movimiento) es infravalorar gravemente la potencia y cohesión del pensamiento adulto (sobre todo de personas con formación científica) frente al pensamiento infantil.

También en una línea de desacuerdo con la existencia de esquemas alternativos tenemos a Preece (1984). Los argumentos de este autor son de muy diferente naturaleza a los expuestos por McClelland. En su opinión, los conceptos no tienen su origen en la experiencia sino que son puestos de manifiesto por ella siendo preexistentes en forma latente, es decir, son ideas innatas, lo cual explicaría también su semejanza con las concepciones aparecidas a lo largo de la historia, idea esta última apoyada por muchos autores entre los que destacaríamos a Giordan y Vecchi (1988).

Al otro lado del espectro aparecen equipos de investigadores que han hecho importantes aportaciones al desarrollo de la línea que nos ocupa.

Citaremos en primer lugar a R. Osborne y colaboradores de la Universidad de Waikato (Nueva Zelanda) que se inclinan por lo que ellos llaman **Ciencia de los niños** y que describen de la forma siguiente:

"Entendemos por ciencia de los niños los puntos de vista sobre el mundo y el significado de las palabras que los alumnos tienden a adquirir antes de que se les enseñen ciencias formalmente. La ciencia de los niños se desarrolla a la vez que estos van intentando sacar sentido del mundo en que viven en términos de sus experiencias, conocimientos que poseen y uso del lenguaje. Kelly sugiere que las personas actuamos como científicos desde muy corta edad" (Osborne, Bell y Gilbert, 1983, p 1).

En un libro de síntesis, cuyo título es: *"Learning in Science. The implications of children's Science "* aparece un claro resumen de sus ideas:

"1. Desde una edad muy temprana, y antes de cualquier enseñanza y aprendizaje de tipo formal en materia de ciencias, los niños elaboran significados de muchas de las palabras que utilizan en la enseñanza de las ciencias, y representaciones del mundo que se relacionan con las ideas científicas que se enseñan.

2. Las ideas de los niños suelen ser mantenidas con firmeza, aun cuando los profesores no sean muy conscientes de ello, y a menudo resultan significativamente distintas de los enfoques de los hombres de ciencia.

3. Estas ideas son sensatas y coherentes desde el punto de vista infantil, y con frecuencia sin recibir la influencia (o pueden ser influidas de maneras no previstas) de la enseñanza de la ciencia" (Osborne y Freyberg, 1985, p32 de la traducción española).

Como consecuencia de todo lo anterior, apuntan los autores la idea de que sí los profesores no saben lo que piensan los alumnos y porqué opinan de ese modo, habrá escasas posibilidades de ejercer un impacto relevante en la enseñanza. Volveremos a discutir las propuestas de este equipo en el Apartado 2.4.4. cuando discutamos las diferentes estrategias que, procedentes del campo de la Didáctica de las Ciencias, se han aportado para la consecución del cambio conceptual.

Otro grupo de trabajo muy potente es el que, ubicado en la Universidad de Leeds (Inglaterra), tiene como representante más destacado para el tema que nos ocupa a R. Driver. Esta autora y sus colaboradores han desarrollado desde hace quince años una línea de investigación muy fecunda sobre la existencia de los esquemas alternativos y su caracterización. Apoyándose en algunas conceptos procedentes de la Psicología cognitiva, parten de la idea de que el aprendizaje que realizan los alumnos sobre materias complejas (Física y Química estarían en ese caso) tiene lugar mediante la organización y reestructuración de experiencias anteriores más que a través de la asimilación de nueva información. Los esquemas conceptuales tienen para estos autores las características generales que hemos indicado al principio de este apartado y que ellos han ampliado en el siguiente sentido: (Driver, 1986, 1988, 1989, 1992; Driver y Erickson, 1983 y Engel Clough y Driver, 1986)

• Los esquemas conceptuales de los alumnos no son simples construcciones "ad-hoc" sino que son *construcciones personales* que han sido elaboradas por el sujeto al ir interiorizando las experiencias que vive con la finalidad de que le resulten coherentes. Estas construcciones van a influir en el modo en que se realicen e interioricen nuevas observaciones constituyendo teorías o ideas "en acción"

●Las ideas de los niños suelen estar dominadas por la percepción y en este sentido se fijan más en las propiedades observables de los objetos que en las interacciones entre ellos.

●Los estudiantes utilizan un razonamiento causal. Se fijan más en situaciones cambiantes que en estados de equilibrio. La idea de que el cambio es lo que requiere explicación está en la raíz del pensamiento causal que tiende a seguir una secuencia causal-lineal.

●Los estudiantes manejan un lenguaje impreciso y términos indiferenciados para expresar sus ideas. Este lenguaje está muy condicionado por la experiencia cotidiana.

●El razonamiento está ligado a un contexto específico. Situaciones que pueden ser "vistas" como similares desde un punto de vista científico pueden ser interpretadas por los niños utilizando nociones diferentes.

A partir de estos esquemas alternativos bien caracterizados, este equipo de investigación ha hecho propuestas concretas de estrategias de enseñanza en la línea de propiciar un **cambio conceptual** en los estudiantes. En el apartado siguiente tendremos ocasión de profundizar en este proceso.

En España, el equipo de la Universidad de Valencia en torno al profesor Daniel Gil, ha desarrollado un trabajo relevante donde destacan que, el hecho de que existan en la mente de los estudiante ideas alternativas a los científicas, representa una dificultad importante para la introducción de conceptos en las clases de Ciencias. Llamam la atención estos autores sobre la constatación de que

los esquemas conceptuales espontáneos tienen en cierto modo la categoría de conocimientos precientíficos, fruto de una epistemología del "sentido común" próxima a la que puede explicar la construcción de los paradigmas aristotélicos - vigentes durante muchos siglos- y cuyo desplazamiento por la ciencia moderna fue una tarea difícil. Esta sería en opinión del equipo una de las explicaciones de la persistencia de las ideas alternativas en los estudiantes después de experimentar los procesos de instrucción (Gil et al. 1991).

La otra explicación estaría relacionada con los propios procesos de enseñanza a que se ven sometidos los estudiantes. Carrascosa y Gil (1985), han apuntado que la persistencia de estas ideas está ligada a lo que ellos llaman **metodología de la superficialidad** implantada en gran medida dentro de nuestras aulas y que en palabras de los autores tiene claras consecuencias para el aprendizaje:

"Esta metodología conduce a dar respuestas seguras y rápidas a partir de generalizaciones acríticas, a trabajar con ausencia de dudas o de posibles soluciones a los problemas planteados. En otras palabras, basándonos en la existencia de un cierto paralelismo entre el proceso de producción de conocimientos científicos y el aprendizaje significativo de estos conocimientos, no es posible producir un cambio conceptual sin provocar antes un cambio metodológico" (p 120).

En consonancia con la línea apuntada en este último párrafo, si se quiere conseguir en los estudiantes un cambio conceptual relevante, hay que partir de cambios drásticos en la metodología utilizada usualmente en las clases de Física y Química. En este sentido, los mismos autores han propuesto el modelo de

resolución de problemas que hemos descrito en el Apartado 1.4 y que ha sido utilizado en la investigación que ahora presentamos ya que, en nuestra opinión, planteamientos metodológicos de esta naturaleza van a conducir a los cambios conceptuales esperados. En el apartado final de este capítulo desarrollaremos de forma explícita estas ideas.

2.4. DE LAS CONCEPCIONES ALTERNATIVAS A LAS CONCEPCIONES CIENTÍFICAS: EL CAMBIO CONCEPTUAL

De todo lo que hemos expuesto en el apartado anterior, podemos deducir que en el momento actual está ampliamente asumido por parte de la comunidad científica interesada en este tema, la existencia de esquemas conceptuales en los estudiantes que en general no coinciden con los admitidos por la ciencia actual, tanto en su versión más elaborada como en lo que se ha venido en llamar Ciencia escolar, es decir la aproximación a la Ciencia que se realiza dentro de las aulas.

Si tomamos este hecho como punto de partida, el proceso de aprendizaje se plantea como objetivo prioritario el conseguir que los alumnos modifiquen sus ideas y se aproximen, en la medida de lo posible, a concepciones más científicas. El proceso es complicado y se puede abordar desde perspectivas epistemológicas y pedagógicas muy variadas y de la importancia que actualmente se concede al tema nos da idea el hecho de que, dentro de la AERA (Asociación Americana de Investigación Educativa), se ha formado un grupo de interés especial (SIG) para trabajar sobre el cambio conceptual. A este grupo pertenecen investigadores de distintas nacionalidades.

En los siguientes apartados, vamos a describir algunas de los modelos más significativos, así como los autores más representativos de cada uno de ellos que se han planteado este problema en el marco de la enseñanza y en concreto, en el de la enseñanza de las Ciencias.

2.4.1. EL MODELO P S H G (POSNER, STRIKE, HEWSON y GERTZOG) DE CAMBIO CONCEPTUAL

En primer lugar, vamos a abordar una de las teorías de **cambio conceptual** que, en nuestra opinión, ha tenido más incidencia en el campo de la enseñanza de las ciencias. Es la desarrollada por Posner, Strike, Hewson y Gertzog (1982) cuya fundamentación procede del campo de la Filosofía de la Ciencia y cuya idea del aprendizaje es considerar éste como una actividad racional, es decir, para estos autores **aprender es fundamentalmente llegar a comprender y aceptar las ideas, al ser éstas inteligibles y racionales. Por lo tanto aprender es, de algún modo, investigar.**

En opinión del grupo de Posner, los puntos de vista contemporáneos de la Filosofía de la Ciencia sugieren que existen dos fases diferenciadas en el proceso de **cambio conceptual** en Ciencias. El trabajo científico está basado en unos compromisos centrales que organizan la investigación; en una primera fase estos compromisos son los que definen problemas, indican las estrategias a utilizar y especifican los criterios para presentar aquello que se ofrece como solución. Thomas Kuhn, (1962), denomina a los citados compromisos **paradigmas** y a la investigación dominada por paradigmas **ciencia normal** mientras que I. Lakatos (1978) los califica como su **esencia teórica pura** sugiriendo que dichos compromisos generan **programas de investigación** diseñados para aplicarlos.

La segunda fase del cambio conceptual sucede cuando estos compromisos centrales necesitan alguna modificación. En este caso el científico se enfrenta con un reto a sus supuestos básicos teniendo que adquirir nuevos conceptos y una

forma diferente de ver el mundo. Kuhn califica este tipo de cambio conceptual como **revolución científica** y para Lakatos constituye un cambio en los programas de investigación. En este sentido la aparición de una nueva teoría no puede comprenderse en el vacío, sino en función de su relación con la teoría anteriormente vigente. Según I. Lakatos (1978) una teoría será mejor que otra cuando:

- a) Tenga un contenido empírico en exceso respecto de la teoría anterior, es decir, sea capaz de predecir nuevos hechos que la anterior teoría no producía.
- b) Explique con éxito todo lo que la anterior teoría ya explicaba y
- c) Logre corroborar empíricamente una parte del contenido empírico que ha sido capaz de producir.

La hipótesis de partida de Posner et al. admite la existencia de pautas análogas a todo lo explicado cuando se considera el cambio conceptual producido en los procesos de aprendizaje. A veces los estudiantes utilizan conceptos que ya poseen para explicar nuevos fenómenos; esta variante de la primera fase del cambio la denominan **asimilación**. Sin embargo, en otras ocasiones los conceptos preexistentes son inadecuados y deben, por tanto, reemplazar o reorganizar sus conceptos centrales. Esta forma más radical de cambio conceptual recibe el nombre de **acomodación**. (Los autores hacen la salvedad de que, aunque estos términos coinciden con los utilizados por J. Piaget, su uso no representa un compromiso con sus teorías).

Centrándose en los procesos de acomodación, los autores se plantean en primer lugar cuales son las condiciones necesarias para que se produzca este tipo de cambio conceptual que consideran el más radical. Sintetizando estas condiciones son (Posner et al. 1982):

1. El alumno ha de verse insatisfecho con las ideas previas, es decir, que sea consciente de que no le son útiles y por tanto es necesario cambiarlas por nuevas ideas.

2. La nueva concepción ha de ser inteligible, lo que supone conocer y comprender los términos, símbolos y modos de expresión. Además, la información debe estar estructurada de forma coherente.

3. La nueva idea ha de ser inicialmente verosímil o plausible. Entender una idea no es condición suficiente para aceptarla e incorporarla al esquema conceptual además, tiene que ser consistente con las ideas anteriores, no estar en contradicción con ellas ni con la experiencia del alumno. Este requisito es muy difícil de cumplir cuando la nueva idea parece ser contraintuitiva, situación que se da frecuentemente en la enseñanza de la Física.

4. La concepción nueva ha de ser potencialmente fructífera, es decir, que sirva para resolver los problemas, ampliar su campo de conocimiento, sugiriéndole preguntas acerca de lo que observa, abriendo nuevas posibilidades de investigación para verificar sus respuestas.

El siguiente punto de reflexión afecta al contexto en que se produce el cambio. Usualmente cuando se producen cambios de conceptos centrales no se reemplazan todos a la vez. Las personas retienen muchos de sus concepciones, algunas de los cuales van a funcionar como guía del proceso de acomodación, es lo que se conoce como ecología conceptual del sujeto (término acuñado por Toulmin, 1972). Esta ecología proporciona el contexto en que se produce el cambio influyendo en él y confiriéndole significado.

Terminan los autores su propuesta presentando una serie de implicaciones educativas consecuencia de la teoría desarrollada. En nuestra opinión las más interesantes serían:

1) La acomodación para los estudiantes es un asunto gradual realizado poco a poco. No parece que los estudiantes se encuentren en disposición de captar, desde el primer momento, cualquier teoría en su totalidad con sus implicaciones respecto al mundo. La acomodación es sobre todo en el inexperto, más bien un ajuste gradual de sus propias concepciones, de manera que cada nuevo ajuste

sienta las bases de ajustes posteriores, un proceso cuyo resultado es una reorganización sustancial de los propios conceptos centrales.

2) Dos características de una ecología conceptual se muestran en particular como guías del proceso de cambio desde una concepción a otra: a) las anomalías o fallos que presentan las ideas existentes y b) las creencias y los compromisos epistemológicos que van a constituir la base sobre la que se emiten los juicios acerca de un nuevo conocimiento.

3) Una propuesta como la planteada tiene como consecuencia unos objetivos curriculares que intenten desarrollar en los estudiantes los siguientes aspectos:

- la conciencia de los supuestos fundamentales y de los implícitos en la teoría científica.
- la exigencia de coherencia entre sus creencias sobre el mundo.
- la conciencia de los fundamentos epistemológicos e históricos de la ciencia moderna.
- cierta comprensión de las posibilidades de las primeras concepciones que se les proponen.

4) Las estrategias didácticas propuestas para conseguir procesos de acomodación son:

- desarrollar actividades encaminadas a crear conflictos cognitivos en los estudiantes.
- organizar la instrucción de forma que los profesores puedan emplear tiempo en diagnosticar los errores de pensamiento de los estudiantes.
- desarrollar tipos de estrategias para tratar estos errores.
- ayudar a los estudiantes a dar sentido al contenido científico

- desarrollar técnicas de evaluación que ayuden a los profesores a seguir los procesos de cambio conceptual.

Para que no falte ningún punto relevante, Posner et al. apuntan también unas indicaciones sobre el papel del profesor en la línea de considerar que éste, tiene que convertirse en un "adversario" que continuamente confronte al estudiante con el problema provocando así la asimilación de las nuevas concepciones. Tiene además que representar el modelo de pensamiento científico con gran coherencia interna en sus teorías y en sus actuaciones, es decir, para que se produzcan **cambios conceptuales en los alumnos parece necesario que se produzca antes un cambio conceptual en el profesor con respecto a su propia labor docente.**

2.4.2. UNA PROFUNDIZACION DEL MODELO. TEORIAS DESARROLLADAS SOBRE LAS IDEAS DE HEWSON.

A lo largo de una extensa bibliografía P.W. Hewson y sus colaboradores han ido desarrollando y matizando el llamado modelo de cambio conceptual, MCC, tanto en el aprendizaje de los alumnos que estudian ciencias como en los alumnos que se preparan como futuros profesores, campo este mucho menos investigado que el propiamente escolar y dentro del cual Hewson et al. destacan la idea de que no se pueden plantear discusiones acerca de la enseñanza sin plantear al propio tiempo cuestiones acerca del aprendizaje (Hewson and Hewson 1988, Hewson and Hennesey 1991 a y b y Hewson, 1992).

Fundamentalmente, en opinión de estos autores, el cambio conceptual se ha introducido en la educación como una analogía procedente de la Historia y Filosofía de la Ciencia útil para entender las dificultades que las personas sufren cuando tienen que cambiar de un sistema de explicación a otro. Tomando como referencia el modelo de cambio conceptual PSHG descrito en el apartado anterior (Hewson es uno de sus coautores) este grupo de investigadores ha hecho un intento de relacionar la teoría del cambio conceptual con:

- La teoría constructivista entendida como una visión de cómo aprenden las personas construyendo su propio conocimiento a partir de su conocimiento previo. Esta construcción del conocimiento tiene lugar dentro de un contexto de interacción y acuerdo social.

- Las concepciones alternativas de los estudiantes: Su existencia va a determinar que el aprendizaje no solamente implica añadir nuevos conocimientos sino también algún tipo de cambio en las concepciones que ya posee.

Resulta muy interesante las diferentes interpretaciones que del concepto **cambio conceptual** presentan estos autores y que describiremos a continuación:

i) Cambio conceptual equivale a **extinción**: la concepción antigua deja de existir y surge una nueva. Gráficamente se podría representar así:

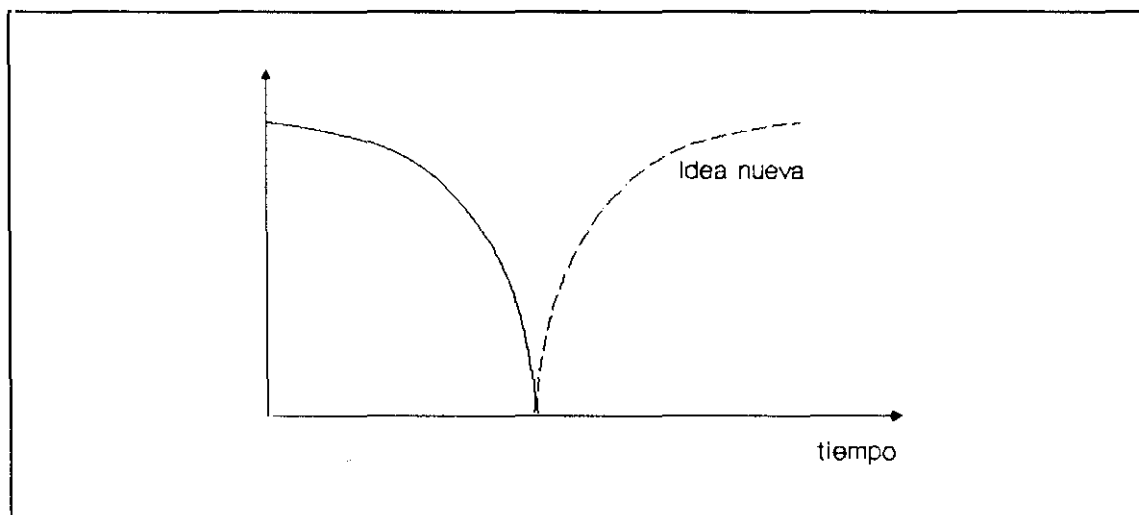


FIGURA 2.1. Cambio conceptual por extinción (Hewson, 1992)

ii) Cambio conceptual significa **intercambio**. La idea antigua se amortigua sin desaparecer y surge una nueva coexistiendo con la anterior. Gráficamente sería

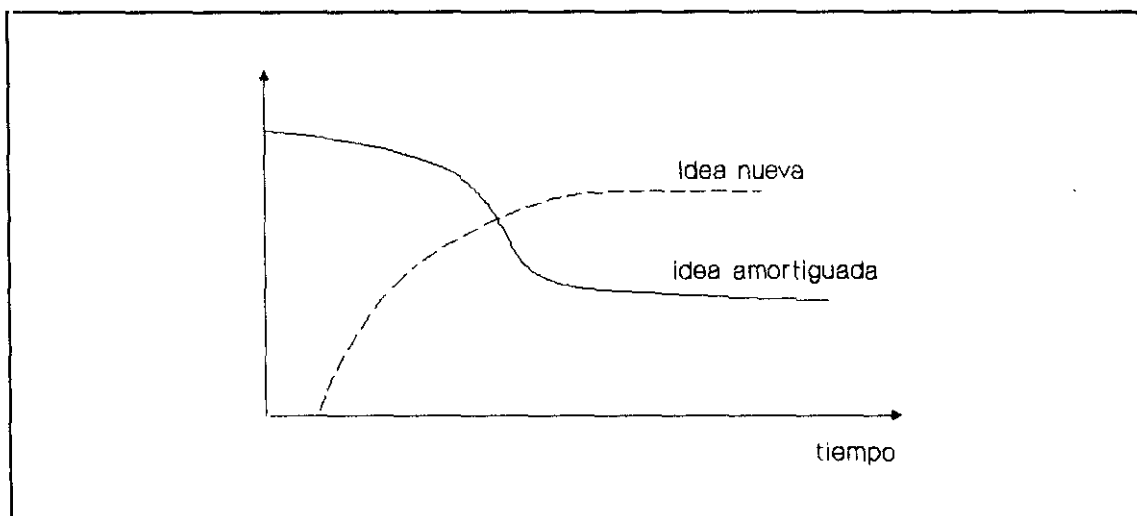


FIGURA 2.2. Intercambio conceptual (Hewson, 1992)

iii) Cambio conceptual significa **extensión**: la idea nueva amplía la anterior. De forma gráfica:

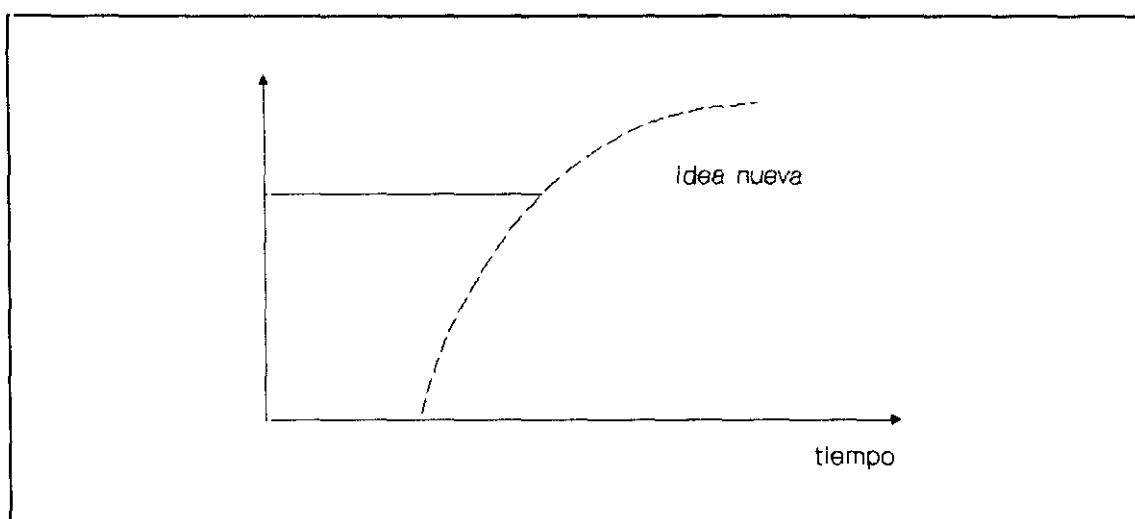


FIGURA 2.3. Cambio conceptual por extensión (Hewson, 1992)

Hay algunos autores que piensan que el cambio producido en el aprendizaje de conceptos científicos por los estudiantes estaría más próximo al representado en segundo lugar y lo denominan intercambio conceptual. Va unido de alguna manera a aprendizajes problemáticos en que la persona tiene que sustituir alguna forma un conocimiento por otro.

El tercer caso presentado coincidiría más con la situación en que los estudiantes aprenden cosas que no conocían mediante el establecimiento de conexiones con lo que ya conocen; el punto de vista asumido puede conciliarse con lo que están aprendiendo y el conocimiento existente puede entenderse como capturador del nuevo conocimiento.

Una idea complementaria que manejan estos autores es la de **estatus** de una determinada concepción entendida como el grado en que una concepción es inteligible, plausible y fructífera (estos términos coinciden en su significado con los del modelo PSHG). En la medida en que se produzca un cambio de estatus en las ideas se producirá un cambio conceptual y estos dos procesos se producirán en paralelo.

"Aprender una nueva concepción implica que su estatus aumenta, es decir, el sujeto la comprende, la acepta y ve que es útil. Si la nueva concepción entra en conflicto con una concepción previa, que ya tiene un estatus elevado para el sujeto, no puede ser aceptada hasta que desciende el estatus de la existente" (Hewson 1992, p 12).

Para concluir con las aportaciones de P.W. Hewson señalar que para estos autores, el cambio conceptual es antes que nada, algo que experimenta el sujeto

de manera intencional, más que algo realizado por el que enseña. El papel del profesor sería fundamentalmente proporcionar las condiciones para que este hecho ocurra. En este sentido el curriculum no solo debería incluir teorías concretas sino también las bases para aceptarlas y como consecuencia, **el propósito de la Enseñanza de la Ciencia no es "obligar" a los estudiantes a que cambien sus concepciones alternativas sino más bien ayudarles tanto a formar el hábito de cuestionar sus ideas como a desarrollar las estrategias adecuadas para aceptar y contrastar concepciones de cara a su posible aceptación.**

2.4.3. OTROS MODELOS DE CAMBIO CONCEPTUAL APOYADOS EN LA FILOSOFIA DE LA CIENCIA.

En la misma línea del modelo PSHG de cambio conceptual que describíamos en el Apartado 2.4.1, otros autores han hecho aportaciones poniendo el énfasis en paradigmas procedentes de la Filosofía de la Ciencia.

Queremos destacar en primer lugar la aportación de D. Hodson (1988), destacando que un desarrollo curricular correcto tiene que considerar de forma muy cuidadosa las relaciones entre la naturaleza de la ciencia y la naturaleza del aprendizaje haciendo la salvedad de que esta relación no es simple ni directa. Señala el autor, en un planteamiento claramente constructivista del aprendizaje, que los estudiantes tienen que tener tiempo y oportunidad para **reconstruir** ellos

mismos su comprensión de los fenómenos científicos pasando por una fase **precientífica o preparadigmática**. En este sentido avanza una serie de estrategias de aprendizaje que coinciden, grosso modo, con las que hemos venido describiendo y que el autor denomina "shift understanding" (cambio de comprensión).

Otra aportación interesante es la suministrada por J. Nussbaum (1989). Este autor comienza planteándose las siguientes preguntas: **¿Cómo tiene lugar el cambio conceptual? ¿Cómo se selecciona una determinada teoría? ¿Qué papel desempeña el conflicto en el cambio conceptual?**. La contestación a estas cuestiones trata de darla el autor desde diferentes escuelas de pensamiento.

Desde una perspectiva empirista o racionalista el conocimiento es adquirido y puede ser descrito en términos absolutos: las ideas pueden ser "verdaderas", "probadas" y "confirmadas".

Desde la óptica constructivista, las ideas son siempre provisionales y susceptibles de ser cambiadas por otras mejores. El conocimiento es una construcción humana, subjetiva y relativa. Dentro de este enfoque Nussbaum agrupa a Popper, Kuhn, Lakatos y Toulmin. Las posiciones de estos autores van a sustentar diferentes orientaciones a la hora de diseñar estrategias para el **cambio conceptual**.

J.Nussbaum, a partir de los resultados de sus propios estudios (Nussbaum y Novick, 1982 y Nussbaum, 1985) opina, en la línea de Toulmin de evolucionismo conceptual, que los estudiantes de ciencias experimentan el cambio conceptual manteniendo elementos sustanciales de la antigua concepción mientras van incorporando gradualmente elementos de la nueva. Constata este

investigador el hecho de que los alumnos pasan por etapas en que mantienen mezclados conceptos intuitivos con conceptos científicos y propone que el conflicto conceptual necesario para que se realice el cambio se provoque por medio de experiencias empíricas discrepantes.

Todos los modelos de cambio conceptual que hemos descrito, han experimentado distintas críticas fundamentadas por un lado, en la carencia que presentan a la hora de explicar los mecanismos por los cuales se produce el cambio y por otro, en que su puesta en práctica no tiene en cuenta que el cambio conceptual en un determinado ámbito, está condicionado por los aspectos metacognitivos que posee el sujeto con referencia a dicho ámbito, (Reif y Larkin, (1991).

2.4.4. MODELOS DE CAMBIO CONCEPTUAL QUE SUBRAYAN LAS IMPLICACIONES DIDACTICAS

A lo largo de los últimos años, a través de la bibliografía, han llegado hasta nosotros diferentes modelos de cambio conceptual que han puesto el énfasis en los aspectos didácticos del proceso, tomando como base algunas ideas procedentes de la Psicología cognitiva.

M.Z.Hashweh (1986) de la Universidad de Birzeit en Israel ha hecho una importante aportación en el intento actual de encontrar explicaciones sobre la estabilidad de los conceptos alternativos de los alumnos y los mecanismos de su

posible cambio. La idea principal que aporta este autor sobre la citada estabilidad es precisamente su origen: muchas de estas concepciones se forman a través de experiencias cotidianas reiteradas, resultando válidos en los dominios limitados en que se han originado. Su aparente éxito hace que los estudiantes los generalicen sin ningún análisis crítico. Esta manera de proceder la denomina el autor **metodología y epistemología del sentido común** idea muy próxima a la desarrollada por Carrascosa y Gil. (1985), en nuestro país y que han denominado **metodología de la superficialidad**.

Para que se produzca el proceso de cambio, Hashweth opina que la fase más importante es la que el llama **reestructuración cognitiva**, operación que debe producirse en la mente del alumno que experimenta el cambio y que esquemáticamente queda representada en la Figura 2.4.

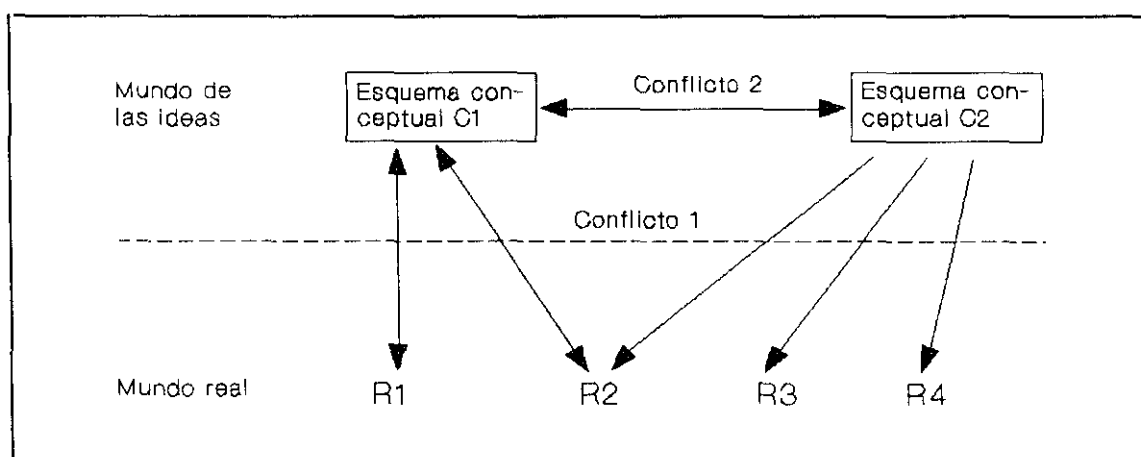


FIGURA 2.4. Modelo de cambio conceptual (Hashweth, 1986)

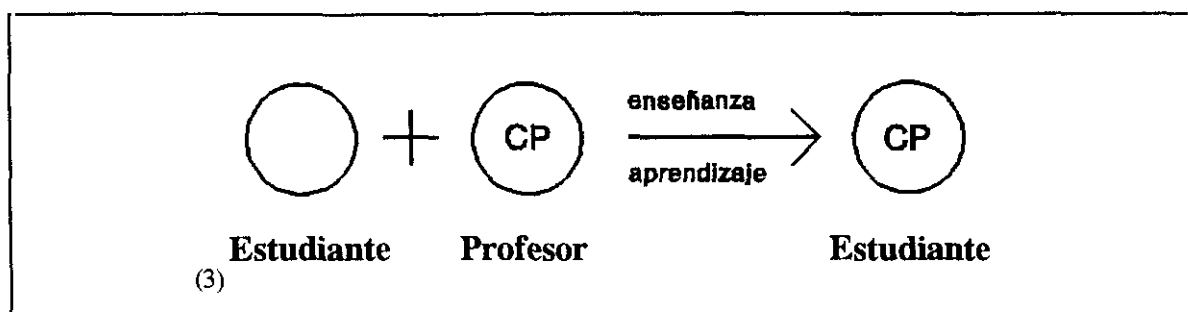
El individuo dispone de un esquema conceptual **C1** que le sirva para explicar una parcela restringida **R1** del mundo. La concepción falla al interpretar

otra parcela del mundo **R2**, por lo que aparece un conflicto (1) ante la imposibilidad de **C1** de explicar **R2**

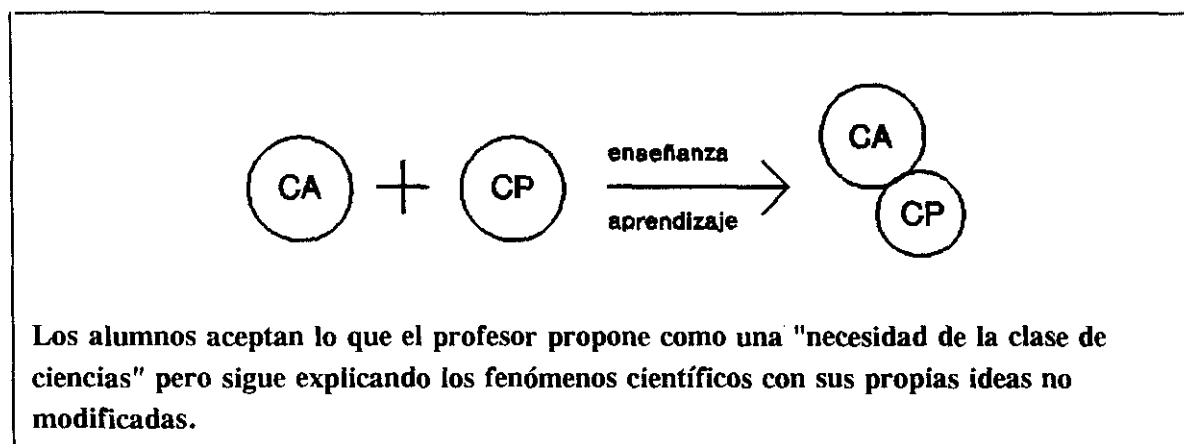
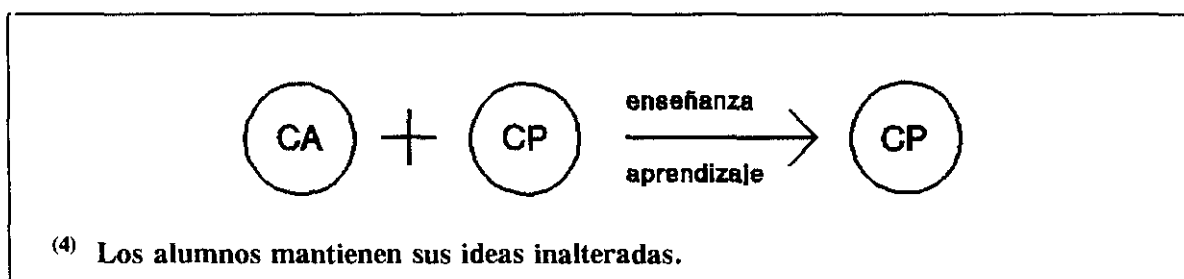
Para explicar **R2** se necesita otro esquema conceptual **C2** que además puede explicar **R1**, y que muy bien puede coincidir con la concepción científica que conviene aprender. Existe un segundo conflicto, el que hay entre ambas concepciones **C1** y **C2**. Ambos conflictos deben resolverse simultáneamente para lo cual será necesario mostrar el campo de aplicación de cada esquema conceptual, es decir, la parte del mundo en el que cada uno puede aplicarse con éxito siendo también necesario explicitar las relaciones que existen entre **C1** y **C2**. Normalmente el esquema conceptual **C2** puede explicar otros dominios de conocimiento **R3**, **R4**....

Propone el autor como estrategia de enseñanza cuestionar en las clases la citada epistemología del sentido común y familiarizar en consecuencia a los alumnos con una epistemología científica que contribuirá al cambio deseado.

Gilbert, Osborne y Feusham en un interesante trabajo realizado en 1982, introducen la metáfora de la tabula rasa como una perspectiva bastante común dentro de la enseñanza de las ciencias. Este enfoque considera que el estudiante no tienen ningún conocimiento científico antes de la instrucción formal, y que durante este proceso las ideas del profesor pasarían de forma más o menos automática a "la cabeza" del alumno. Un esquema gráfico sería:

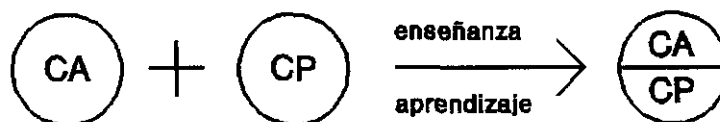


La otra perspectiva que presentan los autores tendría como punto de partida la idea de que el alumno llega a las aulas con una serie de representaciones sobre los tópicos que allí se van a abordar. Como resultado de la interacción pueden presentarse una serie de situaciones finales que vendrían representadas por los siguientes diagramas:

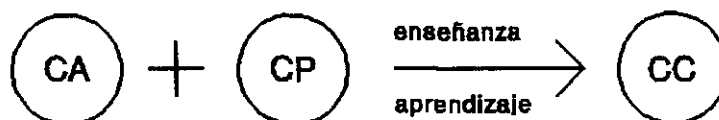


(3) CP representa ciencia del profesor

(4) CA representa la ciencia de los alumnos



Las ideas de los alumnos son suficientemente fuertes para persistir en interacción con las del profesor. El resultado es una mezcla de ideas científicas y personales. El estudiante maneja las ideas científicas en contextos escolares y las personales en su vida cotidiana.



En este caso el proceso de enseñanza habría conseguido su objetivo. Los estudiantes asumen una perspectiva científica (dentro de la llamada ciencia escolar) que van a ser capaces de aplicar a cualquier contexto.

De acuerdo con estos esquemas el aprendizaje viene determinado por las interacciones en la memoria entre el contenido que ésta posee y las nuevas aportaciones que le llegan y es a partir de esta interacción que se producirá el cambio conceptual deseado.

R. Osborne, uno de los coautores del trabajo que hemos comentado, y su equipo de la Universidad de Waikato han desarrollado un modelo didáctico encaminado a cambiar las ideas de los alumnos dentro de la llamada teoría del **aprendizaje generativo** (Osborne y Wittrock, 1985). Asumen como premisa que el aprendizaje de conceptos científicos implica la acomodación cognitiva en un marco alternativo inicial y a partir de ahí describen una serie de condiciones para la enseñanza y el aprendizaje que, en su opinión, deberían ser tomados en cuenta por los profesores. Estas condiciones son:

1) El profesor necesita comprender bien los puntos de vista de los científicos, los de los niños y sus propios puntos de vista con relación al tema que se quiere abordar.

2) Hay que dar a los alumnos la oportunidad de que exploren el contexto del concepto, preferiblemente dentro de una situación real.

3) Los alumnos tienen que implicarse en la tarea de clarificar sus propios puntos de vista desde las primeras etapas de la enseñanza. Un factor clave en muchas situaciones de aprendizaje es que el alumno sea consciente de las ideas que ya posee.

4) Los alumnos necesitan oportunidades para discutir sus puntos de vista. Piensan los autores que el hecho de tener que presentar y defender sus ideas y de considerar sus pros y sus contras a la luz de otros criterios, es una útil simulación del comportamiento científico.

5) A partir del debate general durante el cual el profesor también ha aportado sus puntos de vista se puede pasar a contrastar las diferentes hipótesis bien con algún diseño experimental o con contraejemplos, simulaciones con ordenador, materiales para la instrucción etc. Es interesante presentar la teoría de forma descriptiva antes de introducir la forma axiomática.

6) Posteriormente, hay que dar oportunidad a los estudiantes para aplicar las nuevas ideas en toda una gama de situaciones que preferentemente pueden tener una orientación tecnológica y estar relacionada con el mundo cotidiano.

Dado que, en líneas generales, este ha sido el modelo didáctico utilizado dentro del aula para llevar a cabo la investigación que ahora presentamos, en la Figura 2.5. aparece un cuadro detallado de las fases en que se puede dividir el modelo con las correspondientes actividades del profesor y del alumno.

De las etapas que aparecen en el cuadro hay que destacar que la fase llamada de **aplicación** es el momento, según opinión de los autores, para presentar la resolución de problemas debido a que la solución de los mismos requiere el punto de vista aceptado científicamente. En nuestro trabajo, y como describiremos en el **Capítulo 7**, hemos aplicado globalmente el modelo con la finalidad de entrenar a los alumnos en la propia resolución de problemas.

<i>Fase</i>	<i>Actividad del profesor</i>	<i>Actividad del alumno</i>
Preliminar	Averigua los puntos de vista del alumno; los clasifica; busca criterios históricos; considera qué evidencia puede llevar al abandono de criterios anticuados.	Completa cuestionarios u otras actividades, diseñados para localizar las ideas que tienen.
Enfoque	Establece un contexto. Proporciona experiencias motivadoras.	Se familiariza con los materiales utilizados en la exploración del concepto.
	Participa, hace preguntas abiertas y personales.	Piensa sobre lo que está ocurriendo, hace preguntas relacionadas con el contexto.
	Interpreta las respuestas del alumno.	Decide y escribe lo que conoce acerca de las situaciones, usando aportaciones de clase y de su casa. Clarifica su propio enfoque del concepto.
	Interpreta y esclarece los enfoques de los alumnos.	Presenta su punto de vista al a) grupo, y b) la clase, mediante debate y exposición.
Confrontación	Facilita el intercambio de puntos de vista. Asegura que se consideren todos los conceptos. Mantiene abierto el debate.	Considera el punto de vista de: a) otro alumno; b) el resto de los compañeros de clase, buscando pros y contras.
	Sugiere procedimientos demostrativos, si es necesario.	Pone a prueba la validez de los puntos de vista buscando evidencias.
	Presenta evidencia del enfoque de los científicos.	Compara el enfoque de los científicos con el punto de vista de la clase.
Aplicación	Acepta la provisionalidad de la reacción de los alumnos ante el nuevo enfoque.	
	Inventa problemas que se resuelven más sencillamente utilizando el enfoque científico.	
	Ayuda a los alumnos a clarificar el nuevo enfoque, pidiendo que se utilice en la descripción de todas las soluciones.	Resuelve problemas prácticos utilizando el concepto como base.
	Asegura que los estudiantes pueden describir verbalmente las soluciones a los problemas.	Presenta soluciones a los otros en clase.
	El profesor participa, estimula y contribuye al debate sobre las soluciones.	Discute y debate los méritos de las soluciones; evalúa críticamente esas soluciones.
	Ayuda a la resolución de problemas más difíciles; sugiere lugares donde buscar ayuda.	Sugiere otros problemas, derivados de las soluciones presentadas.

FIGURA 2.5. Modelo didáctico (Osborne y Freyberg, 1985)

Una aportación reciente y con una orientación distinta es la realizada por Ueno y Arimoto, (1993). Para estos autores, las por ellos denominadas, "concepciones ingenuas" en Física, concretamente en la mecánica newtoniana, no son simples representaciones mentales sino construcciones de un sistema interactivo entre el mundo real y los dispositivos cognitivos-culturales de una determinada cultura. Desde su punto de vista, el cambio conceptual representa un cambio de meta-contexto cultural: "los estudiantes deben rescontextualizar los fenómenos bajo otro metacontexto. En otras palabras aprender Física newtoniana requiere, sin ningún género de dudas, una recontextualización expansiva" (p116).

Para terminar este recorrido sobre propuestas de cambio conceptual, vamos a introducir a G.H.Wheatley(1991), que, desde el campo de la enseñanza de las Matemáticas, realiza un análisis del constructivismo como base epistemológica y orientación instruccional para las Ciencias y las Matemáticas escolares. El hecho de que procediendo de otro dominio conceptual llegue a conclusiones similares a las aportadas por los autores que hemos estado describiendo, representa una confirmación de la relevancia y potencial explicativo que este enfoque tiene en el momento actual.

El modelo de trabajo para este autor es lo que el llama **aprendizaje centrado en problemas**, organizando la secuencia de clase como se indica en el diagrama de la Figura 2.6.

Las tareas, diseñadas sobre ideas centrales de las disciplinas, tienen que tener posibilidad de constituir **situaciones problemáticas** para los alumnos conduciendo a los estudiantes a un aprendizaje efectivo de las mismas. El autor hace un llamamiento para que los alumnos trabajen en la **zona de desarrollo**

próximo, en términos vygotskianos, señalando la determinación de esta zona para el conjunto de la clase como un trabajo difícil a realizar por el profesor.

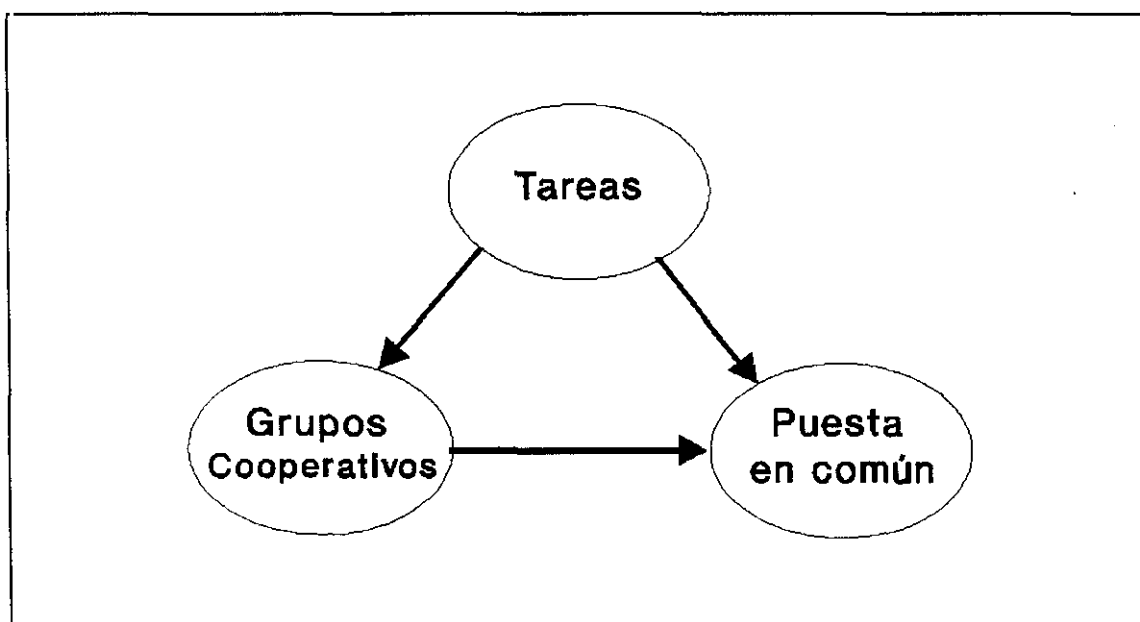


FIGURA 2.6. Diagrama de una secuencia de trabajo. (Wheatley, 1991)

Inspirado también en las aportaciones de Vigotsky, y refiriéndose al trabajo en grupo, señala G.H.Wheatley en su estudio, la importancia de la interacción social en la construcción del conocimiento y como los estudiantes, trabajando en pequeños grupos, pueden experimentar avances importantes; en la puesta en común los alumnos presentan sus conclusiones para la discusión. El profesor, mientras se realiza el trabajo en los grupos, hará el papel de animador favoreciendo la comunicación entre los mismos y en cualquier caso no asumirá el papel de juez que decide qué es verdadero o qué es falso dando oportunidad a que los alumnos construyan sus propios conocimientos. Puntos de vista en la línea defendida por Wheatley se conocen en la literatura como constructivismo radical y a este enfoque ya nos hemos referido al final del Apartado 2.2.

2.5. LA RESOLUCION DE PROBLEMAS: UN INSTRUMENTO DE CAMBIO CONCEPTUAL

Los apartados anteriores han puesto de manifiesto la necesidad de que los profesores promuevan en los alumnos el cambio conceptual necesario para acercarlos a los conceptos científicos. A pesar de la aparente dispersión de las propuestas comentadas, se pueden destacar una serie de puntos comunes que, en nuestra opinión, son los más relevantes:

1) Hay que conseguir, en primer lugar, que los estudiantes se hagan conscientes de sus propias ideas.

2) Los alumnos tienen que "enfrentar" sus ideas acerca de un concepto o fenómeno con las aportadas por sus compañeros, el profesor, los resultados de un problema o de un experimento. Es decir, provocar en ellos el desequilibrio -en términos de Piaget- o el conflicto cognitivo que proponen Posner et al.

3) Los estudiantes tienen que tener oportunidades para reestructurar sus conocimientos y como consecuencia, las propuestas que se les presentan.

4) Por último, los estudiantes tienen que ser capaces de extender el campo de validez de sus nuevas ideas.

El modelo de **resolución de problemas** que describimos en el Apartado 1.4 y que hemos utilizado como instrumento de investigación en esta tesis

doctoral cumple, en opinión de los autores y en la nuestra, los requisitos necesarios para que se produzca el cambio conceptual deseado. Si recordamos, las etapas propuestas a los alumnos para la resolución de **problemas de enunciado abierto**, eran:

- 1) Análisis cualitativo del problema
- 2) Emisión de hipótesis
- 3) Diseño de posibles estrategias de resolución
- 4) Resolución del problema
- 5) Análisis de resultados

Para los alumnos, hacer un **análisis** de una situación que se presenta **abierta**, representa una ocasión importante para que se hagan conscientes, no solo del problema que se les plantea, sino de cuales son sus concepciones al respecto.

La emisión de hipótesis, etapa crucial del proceso, permite a los sujetos explicitar sus ideas acerca de las variables que van a influir así como la naturaleza de esta influencia. Hacerlo dentro de un grupo de trabajo y/o en contacto directo con el profesor, es un momento idóneo para que se produzca el deseado contraste.

Por otro lado, el **diseño de posibles estrategias** y la insistencia de que los alumnos las verbalicen indicando claramente el marco teórico en que se desenvuelven, tiene como finalidad que ellos perciban el hecho de que, en Ciencias en general, y en Física en particular, se trabaja siempre dentro de paradigmas previamente establecidos. Además, la actividad de verbalización del proceso favorece en los sujetos la metacognición ya que, les suministra la oportunidad de reflexionar sobre los propios procesos que están realizando.

Recordemos que una de las críticas que se han hecho a los modelos de cambio conceptual desarrollados por Hewson et al., era no tener en cuenta aspectos relativos a la metacognición.

En último lugar, **analizar los resultados**, la otra etapa "reina" del proceso, favorece la creación del "conflicto" al comprobar -como ocurre en muchas ocasiones a lo largo del aprendizaje- que existen discrepancias entre lo que se ha hipotetizado y los resultados obtenidos o discrepancia entre los resultados y el marco teórico en que se ha trabajado. Para resolver este conflicto, hay que efectuar una revisión crítica del proceso de resolución realizado tanto en sus aspectos parciales como totales. El problema quedará resuelto cuando se haya verificado la consistencia interna de la solución obtenida y en cualquier caso esta solución del problema debe ser fuente de nuevos problemas a los que podamos aplicar el conocimiento adquirido.

Como síntesis queremos destacar una idea importante en lo relativo al cambio conceptual, idea que ha sido resaltada repetidamente por los autores del modelo que estamos discutiendo. En opinión del grupo de D. Gil, el trabajo continuo con una metodología de resolución como la propuesta, va a propiciar en los estudiantes un cambio metodológico en el sentido que ellos mismos defienden, (Gil y Carrascosa, 1985).

Como consecuencia de este cambio, se va a producir en los alumnos **un cambio conceptual** entendido éste en el marco de la teoría construtivista del aprendizaje tal como hemos comentado en este capítulo. Esta idea va a fundamentar una de las hipótesis con que hemos trabajado en nuestra investigación donde afirmamos que **un trabajo continuado de resolución de**

problemas con las características que hemos venido describiendo va a propiciar en los estudiantes un cambio conceptual significativo.

CAPITULO 3

ESQUEMAS ALTERNATIVOS EN EL CAMPO DE LA MECANICA

3.1. INTRODUCCION

Dentro de la "nueva ola" de investigaciones que se ha desencadenado en los últimos años sobre los esquemas alternativos que poseen los estudiantes desde la enseñanza primaria hasta la Universidad, el campo de la Mecánica y más concretamente de la Dinámica ha sido, quizás por su importancia dentro de los currículos escolares, el que ha concentrado mayor número de aportaciones. En este terreno podemos considerar como pionera a la profesora L. Viennot que, con su tesis doctoral *"Le Raisonnement Spontané en Dynamique élémentaire"* (1976), abrió un camino que ha sido hasta el momento ampliamente recorrido. Su equipo de trabajo en la Universidad de París VII ha hecho importantes aportaciones no solo por su variedad y número, sino por su intento de síntesis en un campo donde ha existido y existe cierta dispersión.

En nuestro país, este tema ha sido ampliamente tratado por el equipo de la Universidad de Valencia, D. Gil, J. Carrascosa... que desde hace diez años vienen publicando en este campo. Sus trabajos serán comentados ampliamente a lo largo de este capítulo.

Otro estudio global sobre las concepciones espontáneas de los alumnos dentro del campo de la Mecánica es la aportada por J.I. Pozo desde la perspectiva de la Psicología cognitiva. En su libro *"Aprendizaje de la Ciencia y pensamiento causal"* (1987), hace un análisis detallado de cuales son las ideas alternativas más comunes dentro de este campo y cual es su consistencia interna, todo ello en el marco de las teorías causales que, en su opinión, (ya lo

comentamos anteriormente en el Apartado 2.3.1) tienen un poder explicativo que permite dar coherencia a este conjunto de ideas, aparentemente disperso.

En cuanto a la similitud entre los los esquemas conceptuales alternativos de los estudiantes en el campo de la Mecánica, y las llamadas ideas prenewtonianas (ampliamente defendida por algunos autores), J.I. Pozo, admitiendo que existe realmente un cierto paralelismo, pone el énfasis en contestar a una pregunta: ¿Cuál es el origen de las teorías prenewtonianas? ¿Acaso las intuiciones primarias sobre el movimiento son hoy las mismas que muchos siglos atrás? La respuesta, en opinión del autor, es clara:

"La aparición de una misma teoría en contextos culturales tan distintos tiene su origen forzosamente en la propia percepción del movimiento común a todos los seres humanos. Esta percepción tiene unas restricciones que producen determinadas constancias en la realidad" (Pozo 1987, p 133)

A continuación, vamos a describir con detalle algunas de las investigaciones más relevantes que han tenido lugar en este campo, destacando fundamentalmente las relativas al nivel de enseñanza, Bachillerato, en que hemos realizado la investigación que ahora se presenta. En los distintos apartados se abordan los conceptos básicos que estructuran los currículos en este nivel educativo, siendo esta clasificación la utilizada por nosotros para estudiar el posible cambio conceptual experimentado por los estudiantes en el campo de la Mecánica.

3.2. CAIDA DE GRAVES: INFLUENCIA DE LA MASA.

Con respecto a la caída de graves existen varias ideas espontáneas contrarias a la física newtoniana. La más espectacular de todas es sin duda la de que *"los cuerpos más pesados caen más deprisa que los más ligeros"*. Esta idea, rebatida por Galileo en su histórico experimento de la Torre de Pisa, no la tienen solo los alumnos más jóvenes sino que persiste incluso en estudiantes universitarios. Champagne et al. (1980), trabajaron con una muestra de 20 estudiantes, seleccionados por su nivel académico, que seguían un curso introductorio de Física en la Universidad de Pittsburg. Una de las tareas que se les presentó para que realizaran predicciones consistía en lanzar dos objetos de diferente masa desde la misma altura y preguntarles sobre la duración de la caída. Cerca de la tercera parte de los estudiantes predijeron que el tiempo de caída era más pequeño en el objeto más pesado.

En la Universidad de Monash, Australia, Gunstone y White (1981) trabajaron con una muestra de 400 estudiantes de Física a partir de la observación de determinadas experiencias. Uno de los más llamativos está representado en la Figura 3.1.

El cubo, que tiene la misma masa que el bloque de madera, está colocado intencionadamente a mayor altura. Los estudiantes fueron cuestionados acerca de la relación entre los dos pesos y un 30% de ellos fallaron. Muchas de las respuestas incorrectas implicaban que el bloque era más pesado porque estaba

más cerca del suelo. Esta idea de *"más pesado"* por estar *"más bajo"* ha sido encontrada en otros estudios.

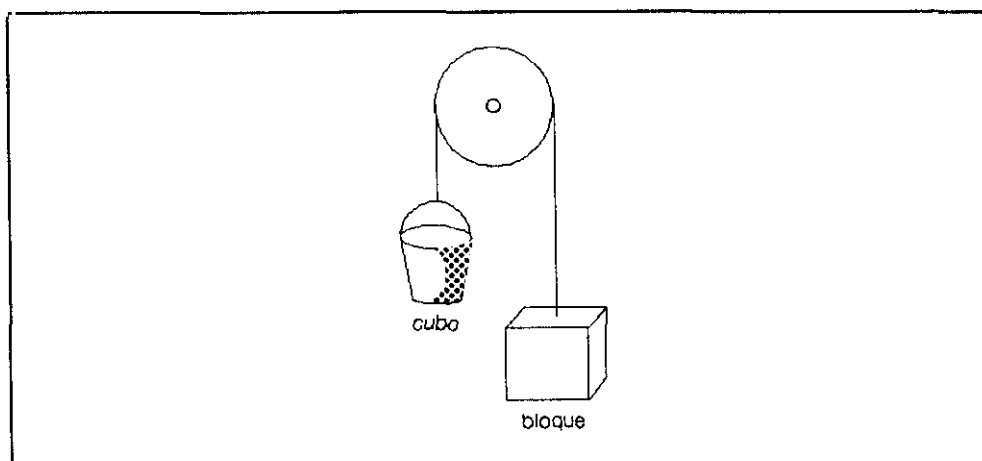


FIGURA 3.1. Comparación de pesos (Gunstone y White, 1981)

En nuestro país se ha investigado también este problema, así el grupo de D.Gil ha presentado a una muestra transversal de estudiantes la siguiente cuestión, (Gil et al. 1991).

Se deja caer un cuerpo desde una cierta altura y tarda un segundo en llegar al suelo. ¿Cuánto tardará otro de doble masa que se deje caer desde la misma altura?. Añadir los comentarios que se consideren oportuno para justificar la respuesta.

Es un problema donde la caída de graves se aborda de una manera directa. La idea de que existe una relación inversamente proporcional entre la masa y la duración de la caída llevará a contestar que el tiempo de movimiento es medio segundo. Algunos estudiantes utilizan razonamientos como: *"al tener doble peso ha de tener doble velocidad"*, o *"si está en el vacío tardará igual pero si no es así, tardará medio segundo"*. Los resultados obtenidos aparecen en la TABLA 3.1.

Muestra	N	Porcentajes de error
2º BUP	196	73
3º BUP	213	70
COU	181	54
1º de Magisterio	145	66
2º de Químicas	140	39

TABLA 3.1. Resultados en la prueba sobre caída de graves. (Gil et al, 1991)

Otra prueba similar también empleada por este grupo de profesores, es la siguiente:

Se lanza verticalmente un objeto hacia arriba con una velocidad dada, alcanzando una altura de 6 m. ¿Qué altura alcanzará otro objeto con la misma velocidad si su masa es la mitad que la del primero?

El mismo razonamiento que se ha comentado para la prueba anterior aparece aquí. La masa influye de forma inversamente proporcional en la duración de la caída y por lo tanto a mitad de masa corresponde doble tiempo y en consecuencia subirá a doble altura (12 m). Las respuestas del tipo: *"subirán distintas alturas, dependiendo del rozamiento"* o similares han sido contabilizadas por los autores como correctas, es decir, sólo se han considerado equivocadas las que afirmaban que la altura alcanzada era precisamente 12 m.

Comparando los resultados obtenidos en esta prueba con los de la cuestión anterior se observa un porcentaje de error superior en unos diez puntos. Los autores opinan que puede ser debido a que en la enseñanza no se hace excesivo

hincapié en los procesos de "subida" como un caso simétrico a la "bajada". En la misma línea que estamos comentando, J. Carrascosa (1987), planteó la cuestión que aparece en la Figura 3.2. Los estudiantes, utilizando que a mayor masa mayor velocidad de caída, dibujan cruces para la masa de 2 Kg. que irían por delante de los de la masa de 1 kg. Considerando como contestación correcta cuando el alumno dibuja cruces siempre a la misma altura pero cada vez más distanciadas, los resultados obtenidos para una muestra de 234 alumnos de 2º BUP fueron los siguientes: el 39,7% especificó que la masa no influía, pero tan sólo el 4,7% dibujó correctamente las posiciones.

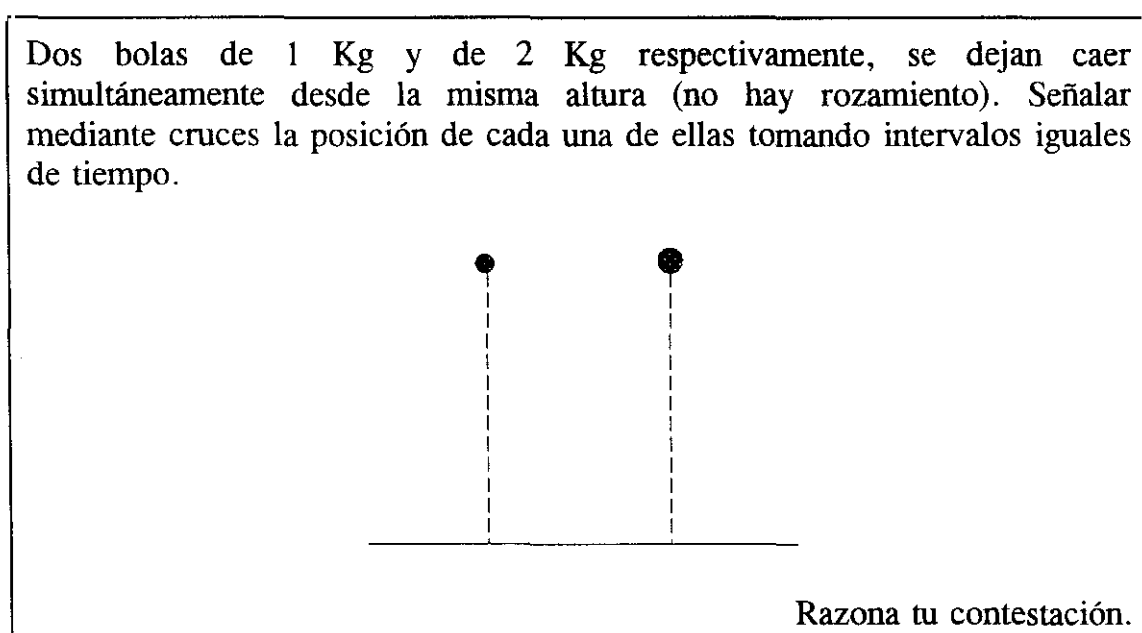


FIGURA 3.2. Caída libre (Carrascosa, 1987)

J. Acevedo (1989), utilizó una prueba similar a la que acabamos de comentar con el fin de explorar la evolución de las ideas de los alumnos de Bachillerato en Andalucía, sobre la caída de graves, obteniendo los mismos resultados.

Un trabajo planteado de forma diferente pero que ha llamado a conclusiones similares fue el realizado por J.I.Pozo (1987), con una muestra

transversal que va desde 7º EGB (13 años) a estudiantes universitarios. La prueba presentada era de tipo manipulativo: se les mostraba a los alumnos un plano inclinado y un conjunto de bolas de masas sensiblemente diferentes, desde pelota de ping-pong a bola de acero. El profesor realizaba delante de ellos experiencias como la mostrada en el dibujo de la Figura 3.3 procediendo posteriormente a entrevistar a los estudiantes.

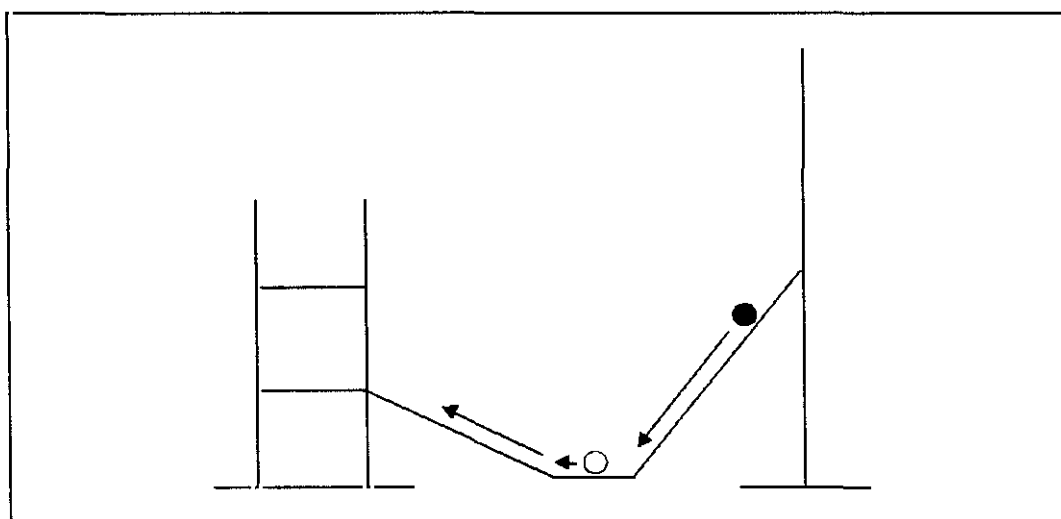


FIGURA 3.3. Caída de bolas por un plano inclinado (Pozo, 1987)

Aunque los objetivos del entrevistador eran múltiples vamos a recoger aquí las contestaciones obtenidas cuando se les planteaba las preguntas: **"Si dejamos caer dos bolas de distinto peso (o masa) desde el mismo sitio. ¿Tardarán lo mismo en llegar al suelo? Si el sujeto responde "no" ¿cuál llegará antes? ¿Por qué?.** Una vez finalizada la entrevista el alumno tenía oportunidad de manejar el mismo dispositivo presentado con el fin de comprobar las ideas que había manifestado. El entrevistador se limitaba a preguntar, cada vez que iniciaba una prueba, qué era lo que iba a demostrar, y cuando la concluía, si ya había demostrado todo lo que pretendía. De todas las conclusiones que saca el autor vamos a destacar lo relativo al concepto de gravedad donde define tres niveles de respuesta:

1. La bola más pesada cae más deprisa porque la tierra la atrae con más fuerza.
2. Contestación intermedia en la que, parecen coexistir las dos ideas (niveles 1 y 3), de forma que el sujeto unas veces mantiene una y otras otra, pero sin llegar a establecer una ley universal.
3. El peso es siempre independiente de la velocidad con la que cae un objeto, debido a que g es constante.

Los resultados obtenidos para cada uno de los niveles de contestación definidos, aparecen en la TABLA 3.2.

Termina el autor indicando que solo el 15% de los encuestados tiene una concepción científicamente correcta y que casi el 70% están convencidos de que *los objetos más pesados caen más rápidos*, incluso algún experto en Física incurre en esta idea errónea aunque estadísticamente el grupo de físicos se muestra claramente distinto a los otros grupos.

Grupos	n	1	2	3
7º EGB	12	8	3	1
1º BUP	12	10	1	1
3º BUP	12	9	3	-
4º de Historia	6	5	-	1
5ª de Físicas	6	1	1	4
TOTAL	48	33	8	7

TABLA 3.2. Resultados sobre la influencia de la masa en la caída de los cuerpos, (Pozo, 1987).

3.3. LA FUERZA COMO MEDIDA DE LA INTERACCION ENTRE DOS SISTEMAS: PRINCIPIO DE ACCION Y REACCION

El concepto de fuerza comienza desarrollándose a partir de sensaciones relacionadas con el esfuerzo físico: "*hay que hacer fuerza para levantar un objeto*", "*este chico es más fuerte que yo*" Los alumnos muy jóvenes (8 ó 9 años) piensan que solo hacen fuerza las personas y en todo caso los animales.

Jean Piaget (1929), realizó alguno de los primeros trabajos que conocemos preocupándose de que ideas tenían los niños acerca de la fuerza y el movimiento. La idea más destacable aportada por el autor es el carácter fuertemente animista de las concepciones que se presentan a estas edades tempranas y que parece disminuir sensiblemente con la edad. Centrándonos en estudios más recientes y con alumnos entre los 9 y los 19 años, vamos a comentar algunos de los resultados, que sobre la conceptualización de la fuerza, se han obtenido.

En 1980, Osborne y Gilbert investigaron el grado de comprensión del concepto de fuerza en una muestra de 40 alumnos ingleses entre 7 y 19 años. El método utilizado es *entrevista-sobre-ejemplos* (IAI: interview about instances) técnica utilizada frecuentemente por estos autores mediante el uso de tarjetas como las presentadas en las Figuras 3.4 y 3.5.

De las contestaciones aportadas por los alumnos, los autores destacan una idea central: el alumno subraya el lado humano de las situaciones como algo básico y fundamental en contraposición de lo que haría un físico. Por ejemplo, cuando contestan a la cuestión planteada en la Figura 3.5 algunos razonamientos representativos fueron:

"La fuerza de cuando se la golpeó, todavía sigue dentro de ella". (Alumno de 13 años). "La fuerza del palo de golf, que va desapareciendo lentamente" (Alumno de 15 años). "Habrá una fuerza en la pelota transmitida por el hombre que la ha golpeado... irá disminuyendo a medida que sube" (Alumno de 16 años).

Un ejemplo extremo sería el dado por un niño de 9 años que afirmó: *"no hay fuerza en la bici porque no puede sentir nada"*

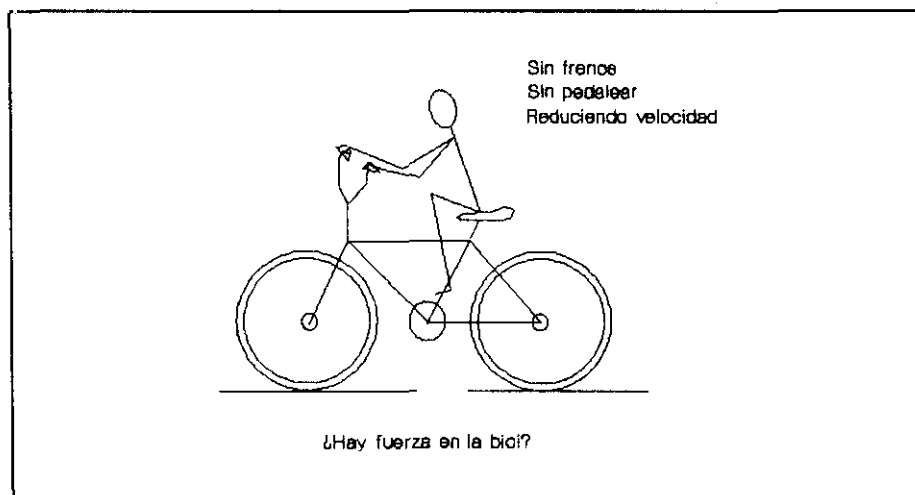


FIGURA 3.4. Concepto de fuerza (Osborne y Gilbert, 1980)

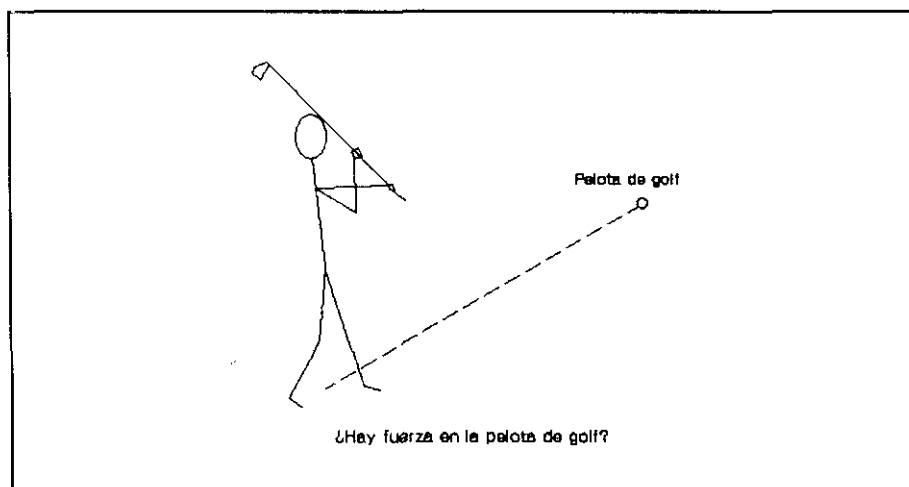


FIGURA 3.5. Concepto de fuerza (Osborne y Gilbert, 1980)

En la misma línea y utilizando la misma técnica IAI, D.M. Watts (1980), entrevista a 22 estudiantes entre 11 y 18 años para explorar sus ideas acerca de los conceptos de **fuerza** y **energía**. Algunas de las tarjetas empleadas fueron las que aparecen en las Figuras 3.6 y 3.7.

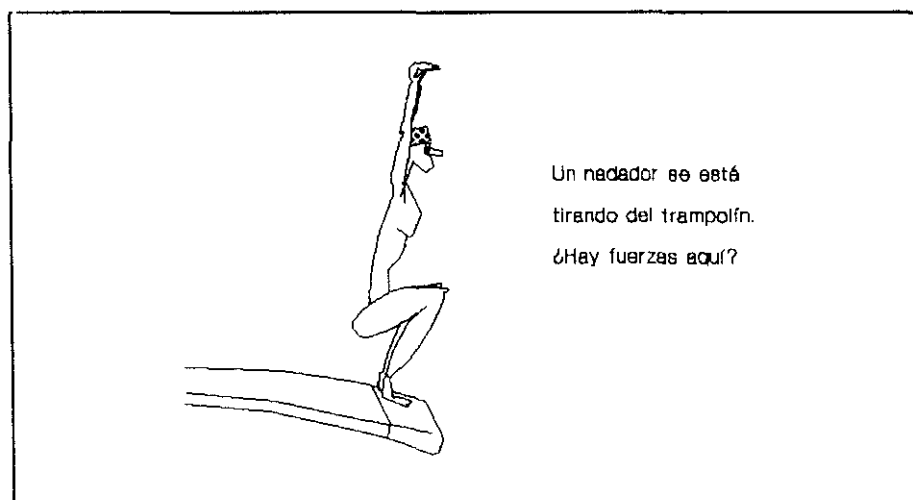


FIGURA 3.6. Concepto de fuerza (Watts, 1980)

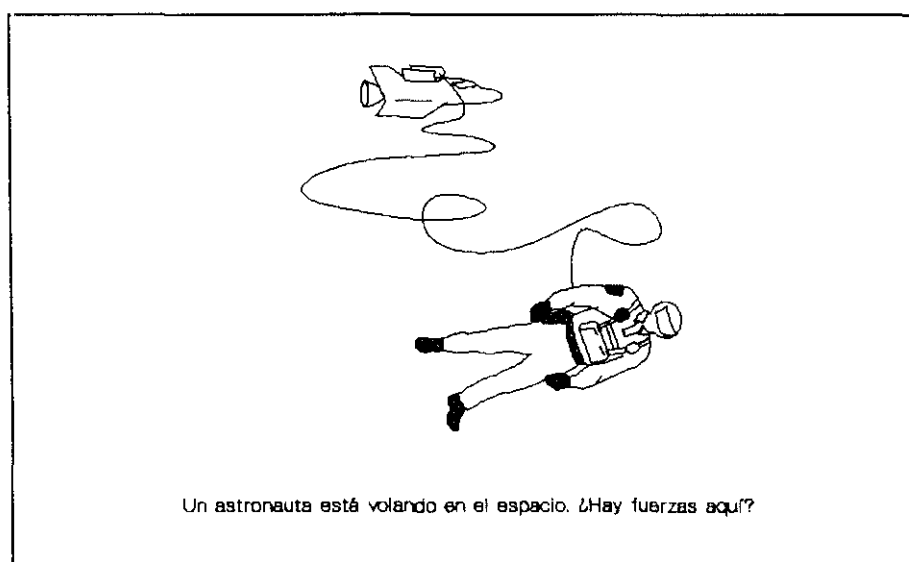


FIGURA 3.7. Concepto de fuerza (Watts, 1980)

Del análisis de las entrevistas el autor destaca la identificación/confusión que los alumnos poseen sobre los dos conceptos explorados cuya distinción se

presenta para ellos muy borrosa. Algunas de las sentencias que aparecen son: "*la energía es el resultado de fuerzas actuando sobre un objeto*" "*la energía produce fuerza*" o "*la fuerza es la energía que tienen los cuerpos*". Como consecuencia de esto razonan que si las fuerzas derivan de la energía y la energía se gasta, las fuerzas también se consumen. Concluye el autor que los estudiantes consideran las fuerzas como "algo" característico de los objetos.

Podemos concluir que el término *fuerza* es muy conocido por los alumnos pero con unos significados que no coinciden, en la mayoría de los casos, con los asignados por la Ciencia. Para ellos las fuerzas "verdaderas" son las fuerzas de contacto, en las que unos cuerpos "*empujan*" o "*tiran*" de otros. Aparece aquí la gran dificultad: Los físicos consideran que la *fuerza es la medida de la interacción entre dos cuerpos pudiéndose producir esta interacción a distancia*. Añadamos a esto el carácter simétrico que presentan las interacciones de acuerdo con la tercera ley de Newton: *cuando dos cuerpos interaccionan las fuerzas que aparecen sobre ellos son del mismo módulo, la misma dirección y sentido contrario*. Todos estos aspectos son de difícil comprensión para los estudiantes de las edades que estamos comentando.

Las investigaciones realizadas para detectar cuales son las ideas de los estudiantes sobre la interacción a distancia y más concretamente sobre la tercera ley de Newton han sido numerosas. Hierrezuelo y Montero (1989), comentan que cuando se les presenta a alumnos de BUP y COU la cuestión que aparece en la Figura 3.8, un alto porcentaje de las contestaciones señalan que la fuerza de atracción es ejercida por la carga positiva, por la Tierra y por el imán respectivamente. En cuanto a cual ejerce la fuerza mayor, las respuestas indican claramente que la carga de +4C, la Tierra ("*es mucho mayor que la manzana*") y el imán. Las tres contestaciones confirman la idea de que "*la fuerza es algo*

poseído por los cuerpos y que estos pueden ejercerla, hecho que depende únicamente del cuerpo que la ejerce y no de la interacción mutua".

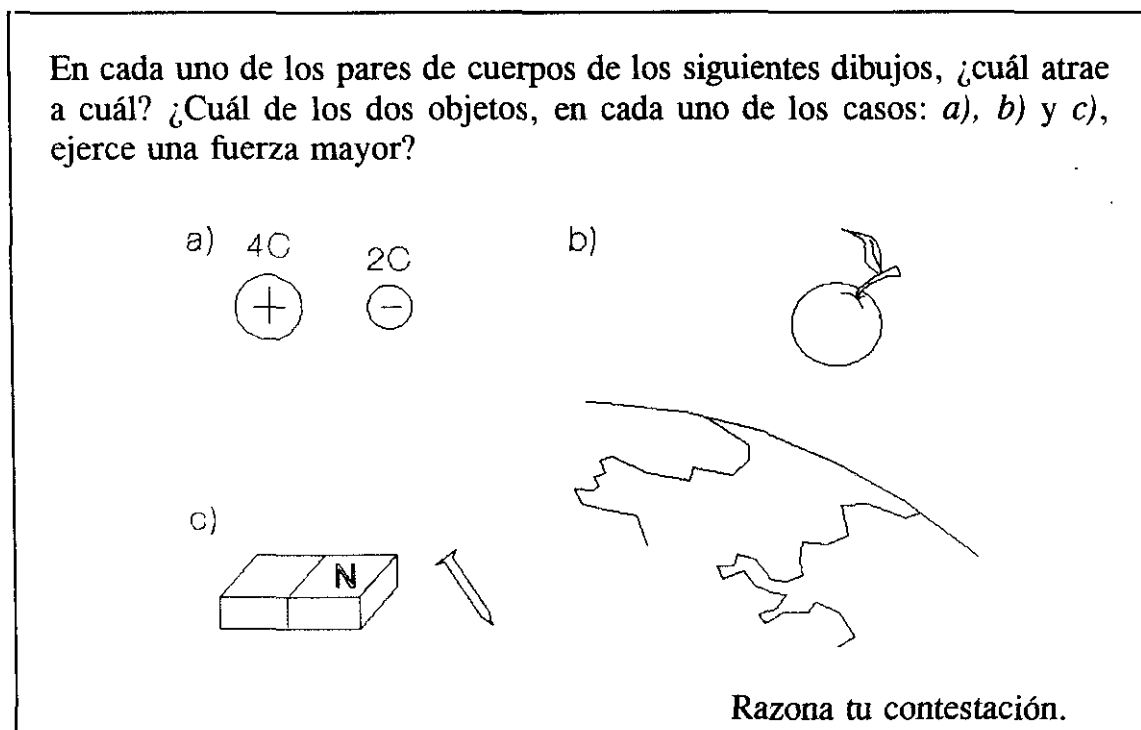


FIGURA 3.8. Tercera ley de Newton (Hierrezuelo y Montero, 1989)

Otra aportación importante es la constatación de que los alumnos consideran de forma diferente las aplicaciones de la tercera ley de Newton a situaciones en reposo que a situaciones en movimiento. Comentan Hierrezuelo y Montero el siguiente ejemplo: Supongamos un hombre que empuja un coche que inicialmente no se mueve tal como aparece en la Figura 3.9. Un alto porcentaje de alumnos que ya han recibido instrucción sobre la tercera ley indican que la fuerza que hace el hombre sobre el coche es igual que la que hace el coche sobre el hombre. Sin embargo, cuando el coche comienza a moverse, un buen número de alumnos de los que había identificado la igualdad entre las fuerzas manifestaron que *"ahora es mayor la fuerza del hombre sobre el coche porque éste se mueve"*.

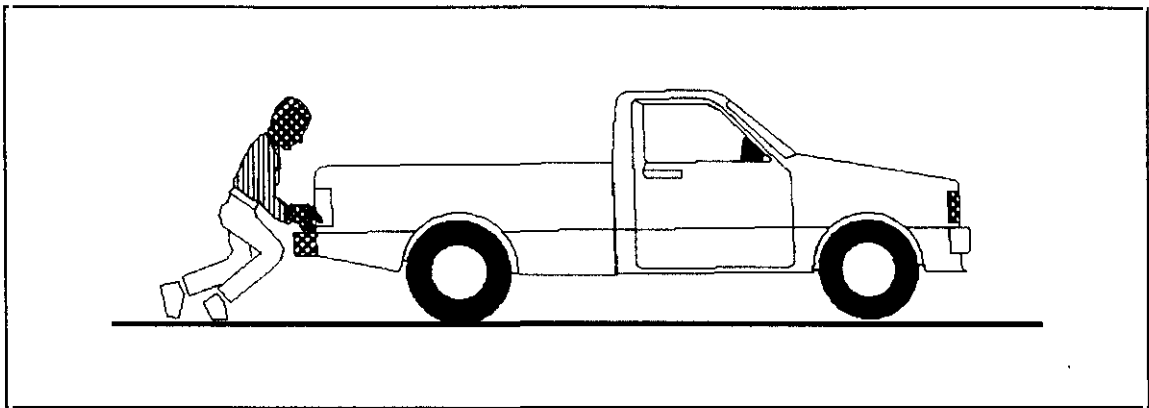


FIGURA 3.9. Señor empujando un coche (Herriezuelo y Montero, 1989)

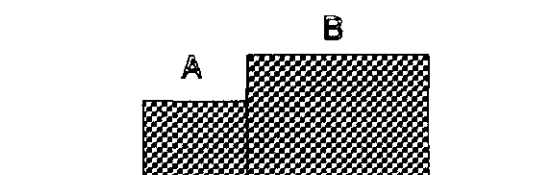
Una aportación muy interesante es la realizada por D.P..Maloney (1984), sobre la comprensión de la tercera ley profundizando en la no asunción por parte de los estudiantes de la igualdad de las dos fuerzas existentes . La tarea con que trabajó fue la que aparece en la Figura 3.10

Todas las combinaciones que se pueden realizar fueron resueltas por la muestra utilizada, la totalidad habían recibido instrucción en mayor o menor grado sobre la tercera ley de Newton, y del análisis de las respuestas el autor seleccionó cinco categorías donde podía incluir al menos un 8% de individuos. La descripción de estas categorías y el porcentaje de alumnos que se adjudican a cada una de ellas se presenta en la TABLA 3.3.

Como puede observarse los estudiantes englobados en 1.a utilizan la masa como la magnitud básica para decidir el valor de la fuerza independientemente de que los bloques estén en reposo o en movimiento. Los que han quedado dentro de las categorías 2.a y 2.b consideran la situación de bloques en reposo diferente de la de bloques en movimiento pero no distinguen entre que el movimiento sea uniforme o acelerado (la diferencia entre los dos grupos es tomar como elemento

decisorio la masa de los bloques o la "causa" del movimiento). Los alumnos correspondientes a 3.a y 3.b diferencian entre los tipos de movimiento agrupando el reposo con el movimiento uniforme por un lado y el movimiento acelerado por otro, (la diferencia entre las dos categorías es la misma que había entre 2.a y 2.b).

Dados los bloques A y B:



¿Cómo es la fuerza que A ejerce sobre B comparada con la que B ejerce sobre A?
Aplicarlo a las siguientes situaciones:

- Los bloques están en reposo.
- Los bloques se mueven con velocidad uniforme.
- Los bloques se mueven con aceleración

En cada uno de los tres casos estudiar las posibilidades siguientes:

Masa bloque A = Masa bloque B

Masa bloque A \neq Masa bloque B

Considerar también las dos posibilidades de que el bloque A empuje al B o que el bloque A tire del B:

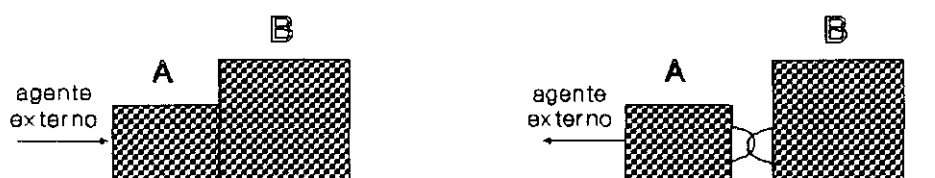


FIGURA 3.10. Tercera ley de Newton (Maloney, 1984)

CATEGORIA	DESCRIPCION	PORCENTAJE
1.a.	El único factor a tener en cuenta es la masa. El bloque de mayor masa ejerce fuerza mayor	11
2.a.	Cuando los bloques están en reposo las fuerzas son iguales, pero cuando se mueven el bloque mayor ejerce fuerza mayor	16
2.b.	En reposo las fuerzas son iguales, pero cuando se mueven el bloque que tira o empuja ejerce una fuerza mayor	19
3.a.	En reposo o movimiento uniforme las fuerzas son iguales pero para el movimiento acelerado el que tiene mayor masa ejerce una fuerza mayor	8
3.b.	En reposo o movimiento uniforme las fuerzas son iguales pero para los sistemas acelerados el bloque que causa el movimiento ejerce la fuerza mayor	9
		TOTAL 63 %

TABLA 3.3. Categorías de respuestas y porcentajes de estudiantes en cada una de ellas, (Maloney, 1984).

Otros datos interesantes que aporta el autor incluyen la idea de que los expertos, estudiantes de Física en la Universidad, tienden a considerar el reposo y el movimiento uniforme como situaciones equivalentes y únicamente un porcentaje pequeño de los mismos usan la masa como magnitud básica para tomar decisiones. Los novatos, en su mayoría, no reconocen la citada equivalencia.

Para terminar D.P. Maloney comenta la confusión de los estudiantes tanto entre la segunda y la tercera ley, como entre ésta y la primera, llamando la atención sobre la necesidad de dedicar tiempo y estrategias concretas para la introducción de la tercera ley de Newton en la enseñanza de la Física.

Un trabajo similar es el realizado por Terry y Jones (1986), en que se pedía a estudiantes de 16 años -recién terminado un curso básico de Física- que identificaran la pareja de la fuerza peso que esta actuando cuando una persona está en reposo (situación estática) o cuando una piedra cae libremente hacia la Tierra (situación dinámica). Sólo el 10% reconocieron la otra fuerza aplicada en la Tierra. En el caso de un insecto chocando contra el parabrisas de un coche, el 60% de la muestra piensa que es mayor la fuerza que hace el parabrisas sobre el insecto que la que hace este último contra el cristal: la explicación está en la diferencia de masa.

3.4. FUERZA Y MOVIMIENTO.

Bajo este epígrafe general vamos a presentar un conjunto muy amplio de investigaciones en las cuales se ha tratado de profundizar sobre las ideas alternativas de los estudiantes alrededor del concepto de fuerza y su relación con el movimiento. En términos generales podemos decir que **los alumnos manejan una serie de esquemas muy coherentes entre sí que constituyen un sistema alternativo a la interpretación newtoniana del movimiento**. En primer lugar, y como ya hemos comentado en otros apartados, la situación reposo y movimiento, aunque este sea uniforme, son para ellos dinámicamente diferentes seguramente porque su experiencia les dice que para mantener un cuerpo en movimiento hay que aplicarle una fuerza: *"la situación natural de un cuerpo es el reposo y si se mueve es porque existe una causa para ello"*. Esta experiencia se incorpora al marco conceptual del alumno y es muy difícil su evolución o cambio. Como criterio para la presentación de las investigaciones vamos a utilizar el tipo de trayectoria recorrido por el móvil.

3.4.1. ESTUDIOS CON TRAYECTORIAS RECTILÍNEAS

Con cuerpos moviéndose sobre trayectorias rectilíneas, una de las pruebas que se ha utilizado en un número mayor de contextos diferentes, ha sido la que se presenta en la Figura 3.11.

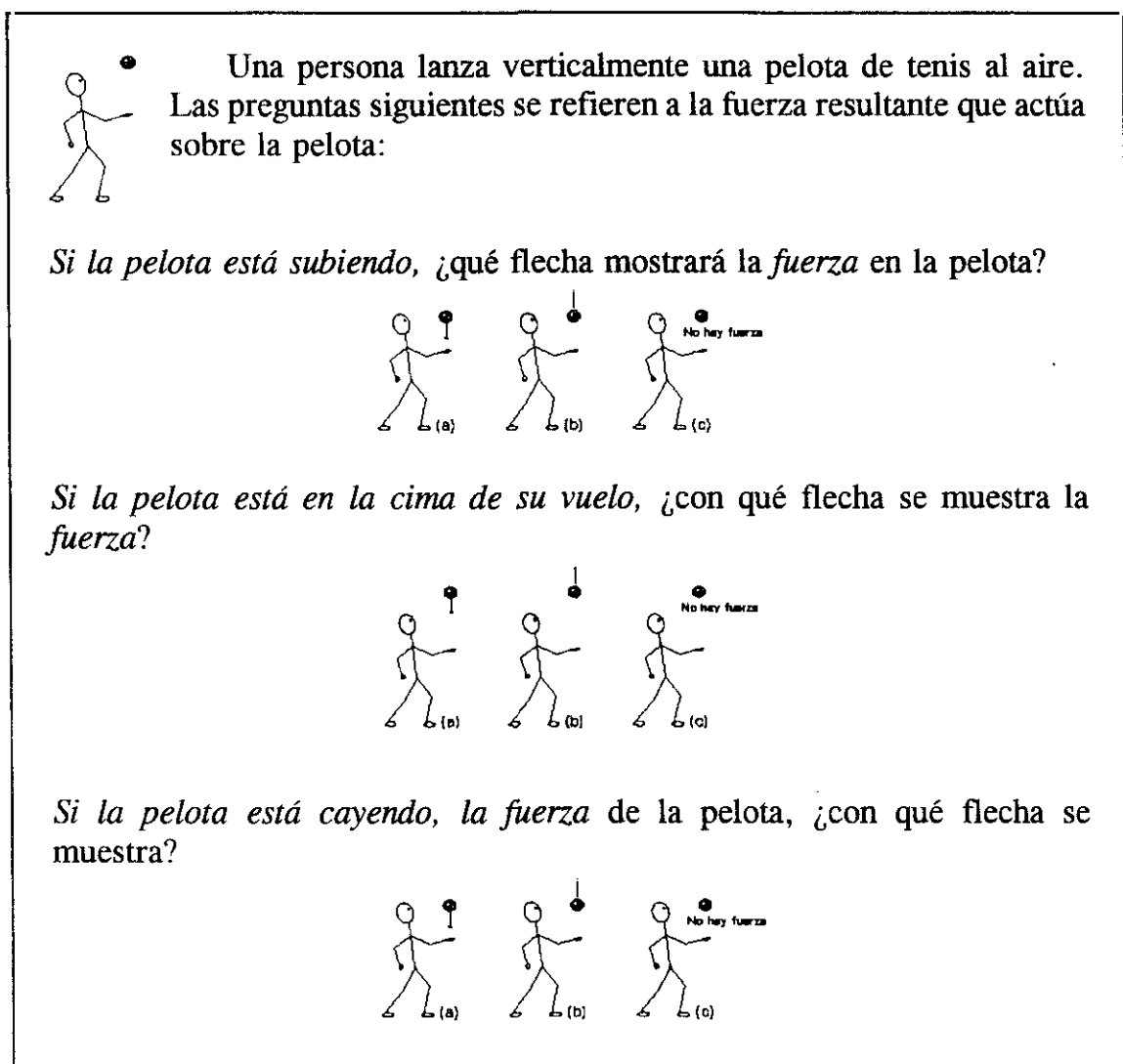


FIGURA 3.11. Fuerza y movimiento (Watts y Zylbersztajn, 1981)

Watts y Zylbersztajn (1981) la utilizaron para distinguir entre aquellos estudiantes que tienen una clara comprensión newtoniana de la situación y aquellos otros que opinan que la fuerza resultante tendrá siempre la dirección del movimiento. Las preguntas se han utilizado con una muestra de 600 alumnos de 13 a 15 años y con 200 de 16 y 17 años que estaban siguiendo un curso de Física. Presentamos a continuación, en la Figura 3.12, una gráfica con la evolución de las contestaciones de acuerdo con la edad.

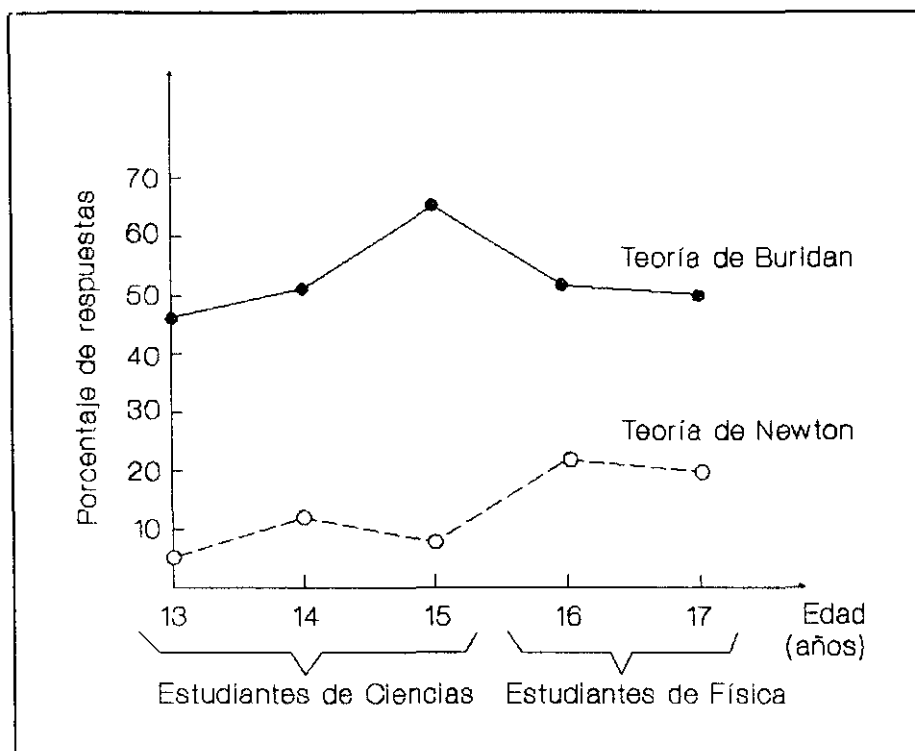


FIGURA 3.12. Comparación entre los puntos de vista de Buridan y Newton (Watts y Zylbersztajn, 1981)

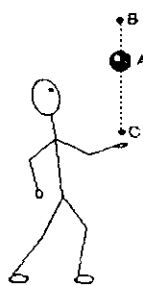
La línea continua recoge el porcentaje de estudiantes que han escogido las respuestas **b.c.a.** y como se puede observar tiene un éxito importante incluso en chicos de 17 años que han estudiado bastante Física; en general los alumnos "saben" que *"uno tiene que empujar un objeto para mantenerlo en movimiento"*. Esta idea de que el movimiento implica una causa y cuando es necesario esta causa está localizada dentro del cuerpo, fue ampliamente sostenida por los físicos del siglo XIV encabezados por Buridan⁽⁵⁾ y se conoce como **teoría del ímpetus**: el motor inicial dota al cuerpo de un ímpetus o fuerza interna, que se va

⁽⁵⁾ Actualmente hay varios autores que han llamado la atención sobre el establecimiento de comparaciones entre las ideas espontáneas de los estudiantes y las llamadas precientíficas-aristotélicas, pregalileanas estableciendo algunas reservas al respecto (Saltiel y Viennot, 1985)

consumiendo hasta que el objeto se detiene. La teoría del ímpetus supuso un avance, aunque solo parcial, respecto a las teorías aristotélicas y en ese sentido, sigue poniendo el énfasis en la velocidad y no en la aceleración de los cuerpos.

En nuestro país, J.M. Sebastián (1984), realizó un estudio similar con una muestra transversal que iba desde alumnos de BUP hasta graduados universitarios. Vamos a referirnos ahora a los resultados encontrados a partir de un test de lápiz y papel equivalente al que estamos comentando, pero de formato cerrado. Como ejemplo se presenta en la Figura 3.13 la primera parte de la prueba junto con los resultados obtenidos.

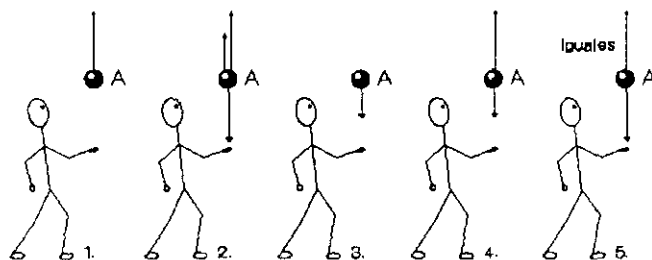
La alternativa 3, correspondiente a la interpretación newtoniana resulta muy poco atractiva incluso para licenciados universitarios ($< 10\%$). Sin embargo, la alternativa 4 en que además del peso, existe una fuerza hacia arriba mayor que éste, es escogida por un número elevadísimo de estudiantes (85%). En una explicación cualitativa los estudiantes afirman: *"la mano del niño le comunica a la pelota una fuerza que es mayor que su peso y que es la responsable de que la pelota suba, esta fuerza va disminuyendo y cuando se iguala al peso la pelota se para"*. El autor, ante este tipo de razonamientos aportados por los alumnos, se inclina, más que por un paralelismo con teorías "históricas", por una estructura de pensamiento de tipo causal. Desde este punto de vista, las fuerzas serían las causas que explicarían el movimiento de los cuerpos y las fuerzas "extras" que introducen en sus interpretaciones responden a la necesidad de no violar esta relación de naturaleza causal.



Un niño lanza verticalmente hacia arriba una pequeña pelota. La pelota pasa al subir por el punto A, llega al punto B donde se detiene, y luego baja pasando por el punto C. Se considera despreciable la resistencia del aire.

Las flechas de los dibujos se supone que muestran las fuerzas sobre la pelota. Elige una de las alternativas y explica brevemente los motivos de tu elección.

En el punto A, cuando la pelota está subiendo ¿qué dibujo crees que representa mejor la fuerza sobre la pelota?



1	2	3	4	5	
10.1	7.2	0.0	81.1	2.9	BUP
5.0	5.0	5.0	83.7	0.0	COU
1.3	1.3	6.2	90.2	1.3	1ª UNIVERSIDAD
0.0	5.6	9.4	84.9	0.0	GRADUADOS

FIGURA 3.13. Fuerzas sobre un objeto en el aire (Sebastiá, 1984)

Otra prueba utilizada para explorar la misma situación que estamos comentando se presenta en la Figura 3.14.

De nuevo, la idea de que tiene que existir una fuerza en la dirección de la velocidad lleva a contestar mayoritariamente que la solución correcta es la **b** ya que el cuerpo sube gracias a "*la fuerza que se le comunicó inicialmente*". No obstante, según el autor, hay un porcentaje de alumnos, principalmente en los

niveles superiores, que escogen la opción a argumentando que la fuerza F es "la resultante de la fuerza hacia arriba y el peso". En la TABLA 3.4 aparecen los resultados obtenidos para esta prueba.

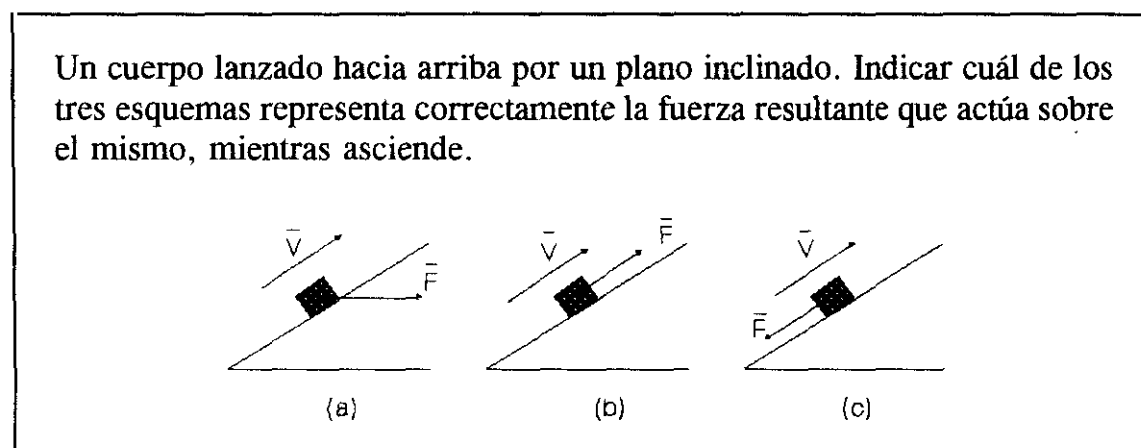


FIGURA 3.14. Fuerzas y movimiento en trayectorias rectilíneas (Carrascosa, 1987)

CURSO	Nº DE ALUMNOS	% DE RESPUESTAS ERRONEAS
2º BUP	196	69,7
3º BUP	213	61,5
COU	181	54,7
1º de Magisterio	145	71,7
2º de Químicas	140	68,8

TABLA 3.4. Resultados para la prueba relación fuerza-movimiento en trayectorias rectas, (Carrascosa,1987).

Llama la atención que sean los alumnos de COU los que obtienen resultados más satisfactorios, quizá sea debido a la enseñanza de la Dinámica que normalmente se suele realizar en ese nivel donde se incide repetidamente en este tema.

3.4.2. ESTUDIOS CON TRAYECTORIAS CURVILINEAS.

El problema se complica para los estudiantes cuando la trayectoria realizada por el móvil no es rectilínea. Pruebas clásicas para investigar este tópico serían las presentadas en las Figuras 3.15 y 3.16 .

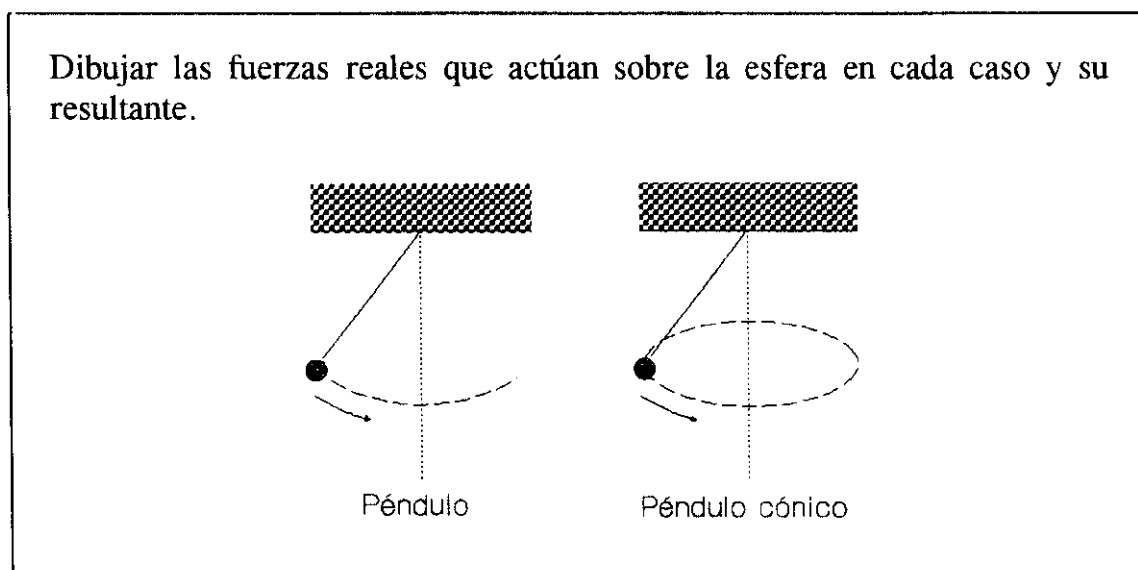


FIGURA 3.15. Fuerzas y movimiento en trayectorias curvas (Carrascosa, 1987)

El error más común que se ha detectado, tanto en la muestra española de la primera prueba, del orden del 95 % para alumnos de COU, como en la muestra francesa de la segunda, consiste generalmente en dibujar la fuerza resultante en la dirección del movimiento.

En las figuras siguientes se muestran cuatro situaciones diferentes en las que se encuentra la bolita de un péndulo. Dibujar las fuerzas que actúan sobre la misma y su resultante, en cada caso.

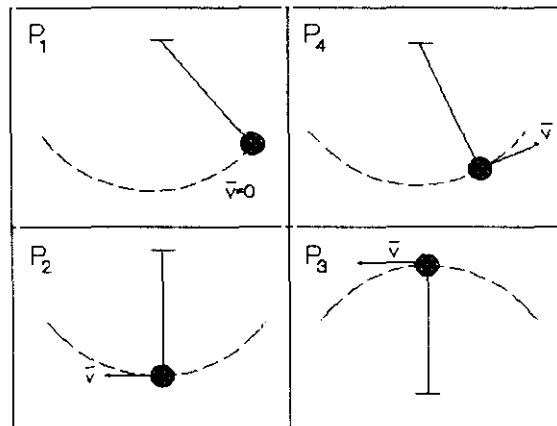
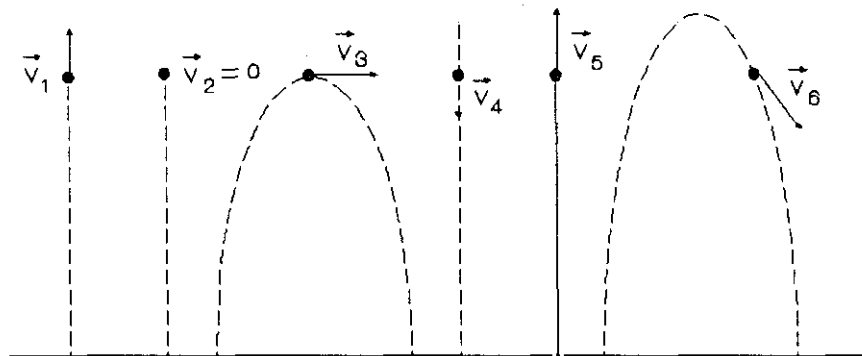


FIGURA 3.16. Fuerzas sobre un péndulo en movimiento (Clement, 1992)

Se lanzan seis objetos idénticos al aire, describiendo distintas trayectorias representadas en la figura:



En un determinado momento las seis bolas se encuentran a la misma altura en cada una de las trayectorias. Se han señalado los vectores velocidad. Dibuja, en cada caso, la fuerza que actúa sobre la bola.

FIGURA 3.17. Predicción de fuerzas que actúan sobre pelotas en el aire (Viennot, 1979)

Otro trabajo ampliamente divulgado es el realizado por L. Viennot, 1979, apareciendo en la Figura 3.17 una de las cuestiones utilizada y en la TABLA 3.5 el tipo de muestra y los resultados obtenidos.

Año de enseñanza	Nº Alumnos	Las fuerzas son		No contestan
		Iguales	Distintas	
Ultimo año E. Secundaria	29	39 %	55 %	6 %
Primer Año (Univ. París)	36	58 %	42 %	0 %
Primer Año (Univ. Bélgica)	226	44 %	54 %	2 %

TABLA 3.5. Resultados de la prueba relación fuerza-velocidad, (Viennot, 1979).

Como se observa en la tabla, el 48% por término medio de los estudiantes universitarios responden diciendo que las fuerzas son diferentes, siendo de la opinión: *"las fuerzas son diferentes, puesto que lo son sus velocidades"* o *"la fuerza es nula en la parte más alta de la trayectoria"*. Comenta la autora que el tipo de razonamiento empleado denota una confusión entre los conceptos de fuerza y energía; se habla entonces de *fuerza del objeto* como especie de provisión de causa, mitad escalar, mitad vectorial atribuida al propio objeto y susceptible de ir consumiéndose. Concluye L. Viennot preguntándose si existe coincidencia entre estas ideas y la ya citada **teoría del ímpetus**.

Para completar los referencias al movimiento circular vamos a comentar algunos trabajos interesantes que han profundizado también en los esquemas alternativos que utilizan los sujetos cuando se enfrentan a esta situación. J.M. Sebastiá planteó, con la muestra transversal que describimos anteriormente, ver Figura 3.13, la prueba presentada en la Figura 3.18.

La figura muestra a un niño que hace girar, en un plano vertical, una piedra atada al extremo de un hilo. Se supone que las flechas muestran las fuerzas sobre la piedra ¿cuál de los dibujos crees que representa mejor las fuerzas sobre la piedra?

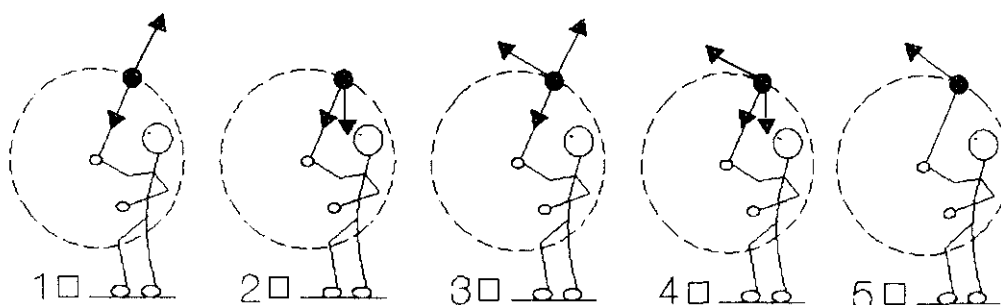


FIGURA 3.18. Fuerzas sobre un cuerpo girando en un plano vertical (Sebastiá, 1984)

Nuevamente nos encontramos con que la *opción newtoniana* es elegida por un porcentaje mínimo en todos los niveles educativos, del orden del 4%. La alternativa 3 es la más escogida, un 60% de media, y en ella los estudiantes introducen una "*fuerza centrífuga*" que contrarresta la tensión de la cuerda quedando únicamente la fuerza en la dirección del movimiento. Un razonamiento similar describen Gunstone y Watts (1985), cuando trabajaron con dos grupos de escolares australianos: uno formado por chicos de 17 años que habían terminado de estudiar el movimiento circular, y otro con estudiantes de Ciencias de 15 años. Las situaciones que les presentaron fueron: una lata unida por una cuerda a una clavija en el centro de una mesa, un coche recorriendo una curva con velocidad constante, un viajero en el interior del coche y una luna de Júpiter. Los chicos de 15 años contestaban mayoritariamente "*es preciso que haya alguna fuerza, dado que el objeto se mueve esa dirección*" para justificar una fuerza en la dirección de la velocidad. Los alumnos de 17 años contestaban con frecuencia que la fuerza total era cero y para ello introducían la fuerza centrífuga (esta

fuerza apenas era nombrada por los de 15 años) consecuencia evidente de la instrucción recibida.

Para terminar con el movimiento circular, comentar un estudio en donde J.W. Warren (1971), trabajando con universitarios ingleses, les pidió que dibujaran la fuerza resultante que actuaba sobre un coche cuando describía un arco de circunferencia a velocidad constante. Alrededor del 40% pintaban la resultante tangencialmente a la dirección del movimiento. Un porcentaje de alrededor del 30% representa la resultante como una fuerza radial hacia dentro o hacia afuera. Volvemos a encontrar aquí la idea apuntada por Viennot de que los alumnos a nivel universitario describen el movimiento circular como una especie de situación de equilibrio lo que les lleva a introducir una fuerza hacia afuera *-centrífuga-* para equilibrar la fuerza centrípeta hacia dentro.

Concluiremos este apartado donde hemos visto los esquemas conceptuales alternativos que poseen los estudiantes sobre la relación entre fuerza y movimiento, describiendo algunos trabajos en los cuales se aborda situaciones en las que los cuerpos poseen ya una velocidad inicial en el momento en que empieza a actuar la fuerza.

M.McClosky (1983), en uno de estos estudios investigó los **conocimientos en acción** de los alumnos pidiéndoles que suelten, mientras avanzan, una pelota que llevan en la mano, de forma que la pelota entre en un agujero que hay en el suelo, tal como se muestra en la Figura 3. 19.

Observó que la mayoría de los estudiantes sueltan la pelota justo cuando están encima del agujero, lo que sugiere que no toman en cuenta la componente horizontal del movimiento de la pelota o que asumen implícitamente que dicha

componente se anula tan pronto la sueltan. En esta línea se han hecho experiencias muy interesantes empleando simulaciones con ordenador. Así, A. DiSessa (1982) describe las interacciones de estudiantes con un programa de ordenador llamado *dinatortuga*. La *dinatortuga* obedece la 1ª y la 2ª ley de Newton de modo que permanece en reposo o se mueve por la pantalla con velocidad constante cuando no actúa ninguna fuerza sobre ella. Al pedir a los estudiantes que envíen la tortuga hacia un blanco, frecuentemente le comunican un impulso dirigido en línea recta hacia ese punto, sin tener en cuenta las condiciones iniciales ya que, los estudiantes esperan que el objeto se mueva en la dirección de la fuerza aplicada.

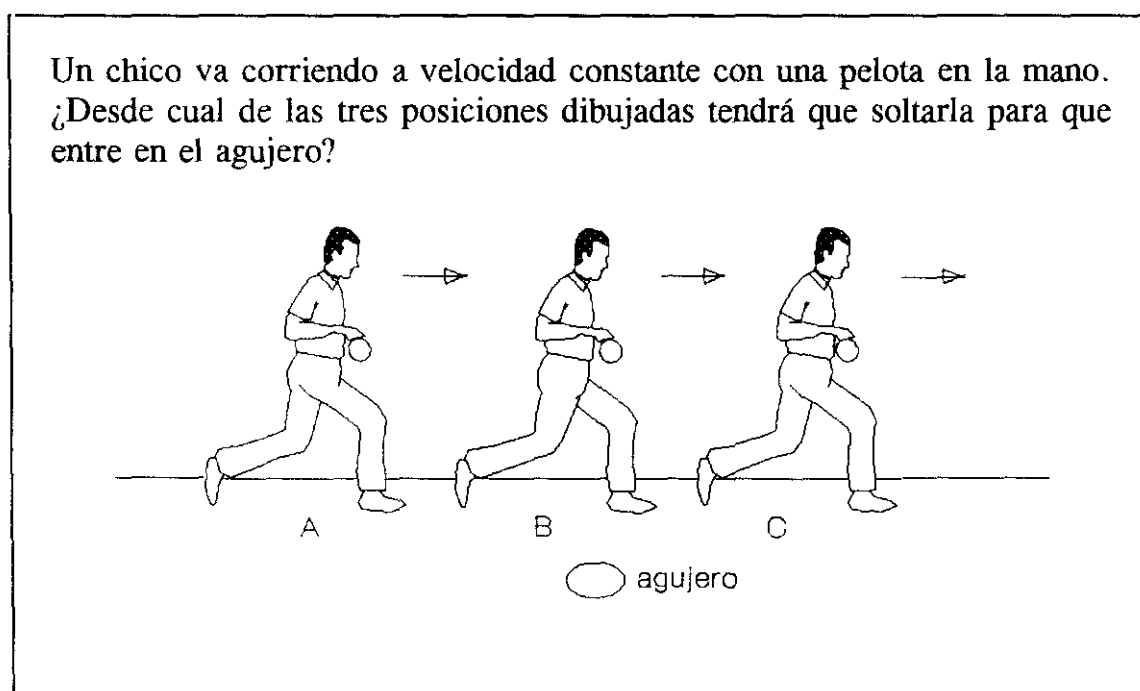


FIGURA 3.19. Predicción de la trayectoria de un objeto que cae (McClosky, 1983)

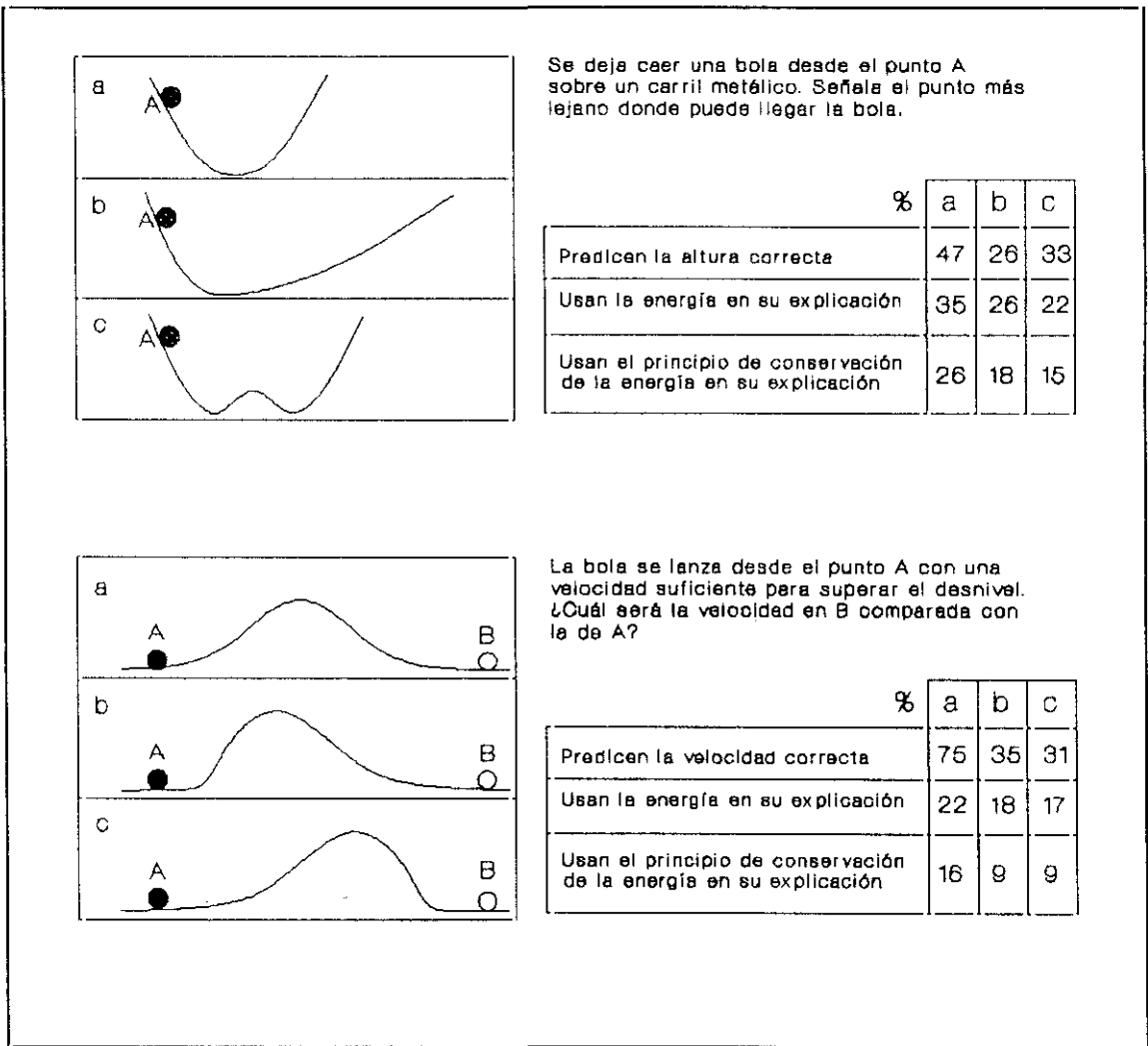
3.5. PRINCIPIO DE CONSERVACION DE LA ENERGIA MECANICA

Los principios de conservación juegan un papel relevante en el desarrollo de la Física como disciplina científica y algunos autores como R.Feynman (1971), apuntan la idea de comenzar el estudio de esta materia a partir de los citados principios y concretamente del **principio de conservación de la energía**. Por otra parte, la conservación de la energía es un aspecto tan importante que no podemos decir que un estudiante comprenda el significado del término energía si no ha aprendido correctamente, y en consecuencia es capaz de utilizarlo, (Trumper, 1993). Hay que señalar que este principio tiene que ir paralelo a la idea de **degradación** en el sentido de matizar que aunque en cualquier proceso la energía se conserva, al ser utilizada va perdiendo **calidad**, es decir, pierde capacidad para ser empleada nuevamente.

Algunas investigaciones indican que los estudiantes no ven la necesidad de utilizar la conservación. R.Duit (1983) realizó una investigación con 171 estudiantes alemanes de 15 a 16 años sobre la utilización del Principio de Conservación para resolver problemas relacionados con la energía mecánica. La prueba utilizada y los resultados obtenidos se presentan en la Figura 3.20.

Como puede observarse el número de alumnos que predice la altura correcta a que llegará la bola es sustancialmente menor en los casos b y c que en el a. La palabra energía es usada únicamente por una minoría de estudiantes cuando explican sus predicciones y un porcentaje todavía menor usan el principio de conservación de la energía en sus explicaciones. Situación similar aparece para

FIGURA 3.20. Conservación de la energía mecánica (Duit, 1983)



En otro estudio posterior Driver y Warrington (1985) entrevistaron a un grupo de chicos de edades comprendidas entre 13 y 18 años, todos ellos con instrucción previa sobre energía. Se les pidió que resolvieran problemas numéricos y prácticos sobre sistemas simples -polea, palanca, etc.- y de nuevo pocos estudiantes emplearon la conservación de la energía en sus explicaciones.

J. Solomon (1985) investigó la dificultad que tienen los estudiantes a la hora de integrar la *conservación* en su experiencia cotidiana, debido en parte al conflicto entre el uso científico de las palabras energía y conservación, y el significado que se les da en la vida diaria. Sugiere, la autora, que una posible solución sería la introducción simultánea del **Principio de Conservación de la Energía** y su **degradación** al empezar el estudio del tema energético.

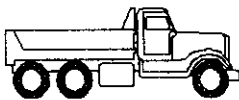
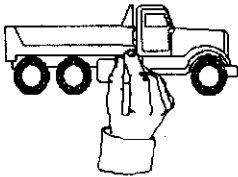

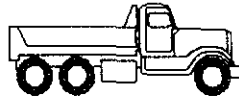
En el marco del proyecto CLIS desarrollado en la Universidad de Leeds, (Brook y Driver, 1984), este grupo de investigadores han trabajado con una muestra de aproximadamente 300 alumnos ingleses de 15 años, escogidos aleatoriamente. Estos estudiantes han tenido que contestar a una serie de pruebas encaminadas a explorar cuales son sus concepciones acerca de **la energía y sus cualidades: conservación y degradación**. Las pruebas eran de formato semiabierto y a partir de las contestaciones obtenidas establecieron una serie de categorías donde incluir a cada uno de los estudiantes.⁽⁶⁾ Por su interés para nuestra investigación, vamos a describir dos de ellas, la primera de las cuales es la que aparece en la Figura 3.21.

A partir de las contestaciones de los estudiantes las autoras destacan lo siguiente: la noción de que la energía "*se gasta*" o "*se pierde*", es común en la experiencia diaria. Por esta razón no es quizás sorprendente que casi la mitad de

⁽⁶⁾ La investigación estaba incluida dentro del proyecto APU (Assessment of Performance Unit)

los estudiantes contestaran la cuestión en términos *"la energía estaba siendo usada" por el camión en movimiento*". Unos pocos estudiantes reconocieron en sus respuestas que al darle cuerda podía aumentar la energía del camión, pero en total, cerca de dos tercios de la muestra usaron ideas aceptables sobre energía transferida y cambios de energía del camión. La idea alternativa más frecuente es aquella en que se asimila energía a movimiento. En último extremo puede llegar a pensarse que el camión solo tendrá energía cuando está en movimiento.

El camión de Micky.

<p>Este es el camión de Micky</p> 	<p>Se le da cuerda.</p> 
<p>Se mueve</p> 	<p>...y después se para</p> 

a) ¿Cuándo tiene el camión de Micky más energía?


- A. Antes de que se le da cuerda.
- B. Justo cuando se le da cuerda.
- C. Cuando está en movimiento
- D. Cuando se ha parado.
- E. Siempre la misma.

b) Justifica tu elección.

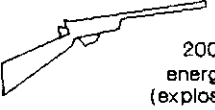
FIGURA 3.21. Conservación de la energía mecánica (Brook y Driver, 1984)

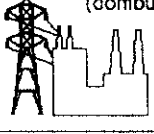
Otra prueba del proyecto CLIS que vamos a comentar es la que aparece en la Figura 3.22.

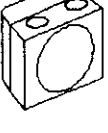
CAMBIO IMPOSIBLE

A)  BOMBILLA
 $100\text{ J} \rightarrow 40\text{ J}$
 energía (eléctrica) → energía (luz)

Proyecto Odis

B)  RIFLE
 $200\text{ J} \rightarrow 250\text{ J}$
 energía (explosiva) → energía de bala en movimiento

C)  CENTRAL
 $280000\text{ J} \rightarrow 70000\text{ J}$
 energía (combustible) → energía (eléctrica)

D)  ALTAVOZ
 $3\text{ J} \rightarrow 0,5\text{ J}$
 energía (eléctrica) → energía (sonido)

a) ¿Cuál de los cambios de energía A, B, C, D no podrá ocurrir nunca?

b) Justifica tu elección.

FIGURA 3.22. Conservación de la energía (Brook y Driver, 1984)

La contestación correcta implica que los estudiantes comprendan que la energía puede ser **cuantificada** y expresada en **julios** teniendo que conocer que, aunque en principio la energía total se conserva, en la mayoría de las transformaciones solo parte de la energía es **útil** para su uso. En cuanto a los resultados obtenidos, los autores destacan que aproximadamente una cuarta parte de los estudiantes respondieron en términos de conservación de la energía, pero muy pocos comentaron porqué la energía de la bala es menor que la del explosivo. Un grupo importante apuntaron únicamente que la energía cinética no podía ser mayor. Brook y Driver (1984) achacan el alto número de personas que no responden, o no dan ninguna explicación, al hecho de que en las escuelas e institutos no se hace prácticamente alusión a la **degradación** de la energía indicando también la escasa relevancia que suele darse a los principios de conservación.

Las dos pruebas que hemos comentado, han sido utilizadas en España por Varela et al. (1993), con una muestra de 182 alumnos de 2º BUP -media 16 años- sacando las siguientes conclusiones, en lo referente a ideas alternativas sobre la energía y sus propiedades.

- La idea alternativa de **energía asociada a movimiento** se manifiesta tanto entre los que escogen la opción del *Camión de Miky* cuando se mueve, como entre algunos que, eligiendo otras opciones, razonan en la misma línea.

- Del 65% de alumnos que eligieron la opción correcta en el *Cambio Imposible*, solo el 39% fueron capaces de razonar su contestación de forma adecuada; en general alegaban simplemente que en un proceso no "*se puede ganar energía*".

- No existen prácticamente alusiones a la **degradación** de la energía en las contestaciones. Para la prueba del camión, solo en un caso se cita el **rozamiento**, pero sin utilizar el concepto de energía. En las transformaciones energéticas, se elige el cambio imposible por criterios de conservación pero no se alude a que, forzosamente, la energía útil obtenida en un proceso tiene que ser menor que la energía suministrada.

- Hay una cierta imposibilidad de admitir la transformación de unas formas de energía en otras: química en eléctrica, eléctrica en sonora etc. Del conjunto de alumnos que se expresa en términos de cambios intrínsecamente imposibles, la mayoría opta por la central térmica, razonando que "*la energía eléctrica no se puede obtener a partir de un combustible*".

En los niveles universitarios también se han investigado las ideas de los alumnos acerca de los tópicos que estamos comentando. Lawson y McDermott (1986) trabajaron con una muestra de 28 estudiantes de Física -primero de Facultad)-divididos en dos grupos: 16 realizaban un curso sin cálculos numéricos y 12 un curso basado en este tipo de cálculos. Todos ellos tenían calificaciones por encima de la media. Se trataba de investigar que entienden los estudiantes del **teorema impulso-momento** y del **teorema trabajo-energía** y si son capaces de relacionar el formalismo algebraico de estos teoremas con lo que observan en una situación real. Esta situación consistía en estudiar el movimiento de dos discos de diferentes materiales y distinta masa que se mueven, sin rozamiento, bajo la acción de una fuerza constante, recorriendo a continuación libremente un espacio determinado tal como se observa en la Figura 3.23.

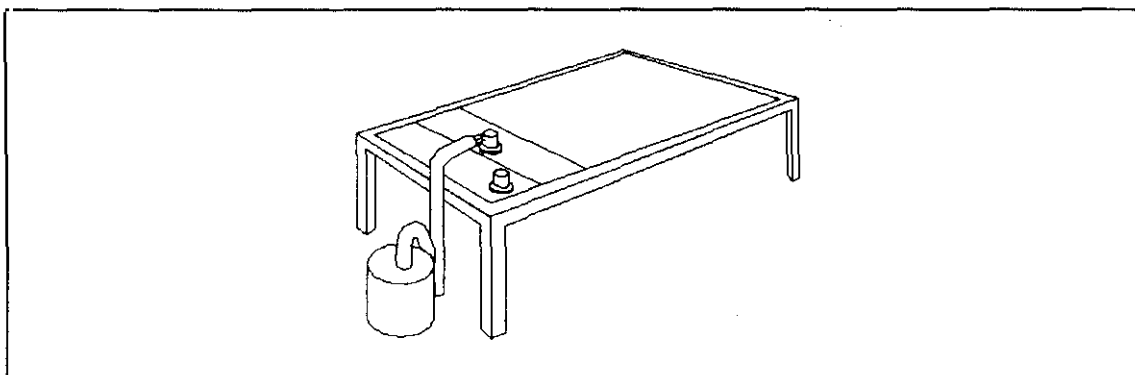


FIGURA 3.23. Conservación de la energía y de la cantidad de movimiento (Lawson y McDermott, 1986)

Las conclusiones que sacan los autores después de analizar las entrevistas grabadas en audio fueron las siguientes:

- Llama la atención que muchos de los estudiantes entrevistados sobre todo los del segundo grupo habían sido capaces de responder exámenes con cierto éxito sobre problemas, algunos sofisticados, en que aparecían los conceptos de

impulso, cantidad de movimiento, trabajo y energía. Sin embargo, no podrían razonar correctamente utilizando los teoremas $W = \Delta E$ e $T = \Delta \vec{p}$ para un caso tan sencillo de movimiento en línea recta bajo la acción de una fuerza constante.

- Aplicar los teoremas a situaciones como la que aquí se presenta requieren por parte de los alumnos un conocimiento y comprensión muy por encima de la simple memorización. Tienen que superar la intuición o lo que algunos autores llaman *Física del sentido común*.

3.6. A MODO DE SINTESIS.

Como síntesis de todos los trabajos de investigación que hemos comentado a lo largo de este capítulo, vamos a presentar un resumen que recoge los esquemas conceptuales alternativos más relevantes para estudiantes de Bachillerato, nivel en que hemos desarrollado la tesis doctoral que nos ocupa. Estas concepciones alternativas, tal como indicamos en la introducción del capítulo, han sido utilizadas para evaluar el posible **cambio conceptual** experimentado por la muestra investigada.

A) En lo relativo a la caída de graves.

- La masa es un factor relevante. Los cuerpos de mayor masa, o peso, caen más deprisa que los más ligeros. Esta idea es sumamente persistente e insensible a la instrucción recibida.

- El porcentaje de contestaciones erróneas es mayor cuando el problema es de "subida" que de "bajada".

B) En lo relativo al concepto de fuerza como medida de la interacción entre sistemas.

- Los estudiantes consideran la fuerza como "algo" característico de los objetos, especialmente en el caso de los seres animados, confundiéndola con el

concepto de energía. Esta idea crea problemas para comprender la interacción a distancia.

- Pueden reconocer que existen dos fuerzas cuando se produce una determinada interacción, pero tienen problemas para asumir el carácter simétrico de la tercera ley de Newton. Los alumnos en lugar de admitir como principio básico la igualdad de ambas fuerzas, tienen en cuenta en cada caso factores secundarios.

C) En lo relativo a la relación fuerza- movimiento.

En este punto, los alumnos manejan una serie de esquemas muy coherentes entre sí que constituyen un sistema alternativo a la interpretación newtoniana del movimiento.

- El movimiento implica una causa y cuando es necesario, esta causa está localizada dentro del cuerpo a modo de fuerza interna que se va consumiendo hasta que el objeto se detiene.

- Tiene que existir una fuerza paralela a la velocidad del móvil y generalmente proporcional a ella. En consonancia con esto, lo relevante para calcular la fuerza es la velocidad en lugar de la aceleración.

- En trayectorias circulares, introducen la "fuerza centrífuga" que equilibra la centrípeta a fin de obtener una resultante en la dirección de la velocidad.

D) En lo relativo a la conservación de la energía mecánica.

- Como cuestión previa indicar que los alumnos no ven necesidad de emplear el principio de conservación de la energía a menos que se les indique expresamente.
- El concepto de energía va asociada fundamentalmente a la idea de movimiento. Existe cierta imposibilidad de reconocer energías de tipo potencial.
- Los estudiantes tienen problemas para asumir la transformación de unas formas de energía en otras y en cualquier caso, no existen prácticamente alusiones a la *degradación* cuando se refieren a las transformaciones energéticas.
- Hay gran dificultad para integrar la *conservación* en su experiencia cotidiana, debido en parte al conflicto entre el uso científico de las palabras energía y conservación y el significado que se les da en la vida diaria.

Para terminar con el resumen que estamos presentando vamos a comentar la visión globalizadora de L. Viennot, sobre cual es **la concepción de fuerza y su relación con el movimiento** -esquema alternativo que consideramos clave- que poseen los estudiantes, tanto de los últimos años de Enseñanza Secundaria como de Universidad. Opina la autora, autoridad en este tema como comentábamos en la introducción, que los sujetos mantienen varios registros de razonamiento funcionando simultáneamente:

- **Fuerza de interacción (F_{ex}):** cumple la segunda ley de Newton

$\vec{F} = m\vec{a}$ utilizándose para interpretar el movimiento cuando este se realiza en el mismo sentido que la fuerza aplicada.

- **Fuerza del objeto ("capital de force F_c):** cumple una relación del tipo

$\vec{F} = cte \cdot \vec{v}$ actuando cuando se da inicialmente el movimiento del cuerpo, y las fuerzas de interacción parecen incompatibles con el mismo (fundamentalmente por ser de sentido contrario). Esta noción tiene un carácter híbrido entre fuerza y energía, atribuida al objeto y susceptible de ir consumiéndose.

Estos dos tipos de fuerzas, sus propiedades y sus condiciones de intervención constituyen el **núcleo** de un modelo interpretativo que permite asociar a un tipo de pregunta un probable razonamiento de los estudiantes.

Cuando las trayectorias no son rectilíneas, aparecen en los razonamientos de los individuos un tercer tipo de fuerzas consideradas necesarias para mantener "el equilibrio". Un claro ejemplo en este sentido es la necesidad de introducir una *fuerza centrífuga* cuando el cuerpo gira con velocidad uniforme: "*Hace falta una fuerza hacia afuera para contrarrestar la fuerza centrípeta dirigida hacia el centro debido a que, en la dirección radial, no hay velocidad*". Estas fuerzas estarían próximas a las que hemos llamado **fuerzas del objeto** ya que cumplirían la premisa siguiente: Si $\vec{v} = 0 \Rightarrow \vec{F} = 0$.

Para terminar este capítulo, recogemos una cita literal de L.Viennot, en la cual nos hace una advertencia muy sugerente:

"No existe ninguna tendencia importante del pensamiento de los estudiantes de la cual el profesor lúcido no detecte alguna huella en sus propios razonamientos. Solo es necesario pasar a contextos más complejos. (Viennot, 1989 p 11).

CAPITULO 4

ESQUEMAS ALTERNATIVOS EN EL CAMPO DE LA ELECTRICIDAD

4.1. INTRODUCCION

Desde hace aproximadamente 15 años se han realizado numerosas investigaciones acerca de los esquemas conceptuales alternativos que poseen los alumnos sobre los circuitos eléctricos y las magnitudes que intervienen en su estudio.

Para llevar a cabo estas investigaciones se han utilizado las técnicas de detección que son habituales en este tipo de estudios. Añadiremos únicamente que algunos autores han trabajado presentando a los alumnos el material usualmente utilizado en los laboratorios de Electricidad, pidiéndoles que monten determinados circuitos y preguntándoles, a partir de sus montajes, qué piensan ellos acerca de lo que allí está ocurriendo. Este método ha dado buenos resultados para conocer las representaciones que tienen los estudiantes sobre todo en edades tempranas.

Como en otros campos de las ciencias, la enseñanza habitual se ha mostrado bastante ineficaz a la hora de conseguir que las ideas intuitivas de los alumnos sobre los circuitos eléctricos, evolucionen hacia las admitidas hoy día por la comunidad científica.

De forma análoga al capítulo anterior, vamos a describir las ideas alternativas más importantes que se han detectado en los alumnos a lo largo de los diferentes niveles de enseñanza, ideas comunes a los estudiantes de los distintos países en que se han realizado investigaciones en este campo. Estas ideas

constituyen el armazón básico que sustenta el currículum de Electricidad en el nivel escolar en que se ha desarrollado nuestra investigación, por lo que su **detección inicial y su evolución a lo largo del proceso han sido parámetros que hemos utilizado para evaluar el posible cambio conceptual experimentado por los estudiantes.**

4.2. IDEA DE CIRCUITO CERRADO

Es un hecho constatado por numerosos autores que cuando a los alumnos se les pide que conecten una bombilla a una pila, suministrándoles cables, pila cilíndrica y bombilla sin portalámparas, muchos de ellos tienen dificultades debido a que no tienen asumida la necesidad de cerrar el circuito.

Queremos destacar que este problema lo presentan, aunque en grado descendente a medida que avanzamos en el nivel de enseñanza, los alumnos de primaria (Tiberghien et al. 1976, Osborne 1983), los de secundaria, y, lo que es más sorprendente, los de enseñanza universitaria (Fredette 1980, Dupin y Joshua, 1986, Sebastiá, 1993). Una de las pruebas de lápiz y papel que se ha utilizado para constatar esta idea es la que se presenta a continuación:

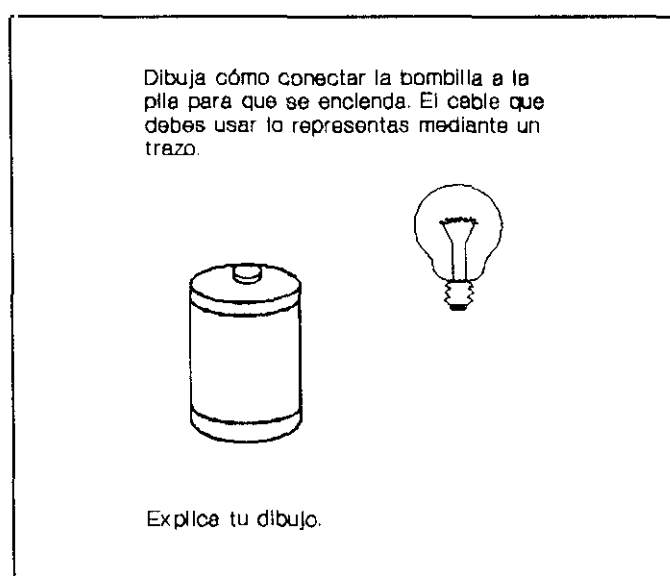


FIGURA 4.1. Idea de circuito cerrado (Osborne, 1981)

Las contestaciones dadas por numerosas muestras de estudiantes, ampliadas con entrevistas a pequeños grupos, han sido categorizadas por los investigadores en los modelos que aparecen en la Figura 4.2.

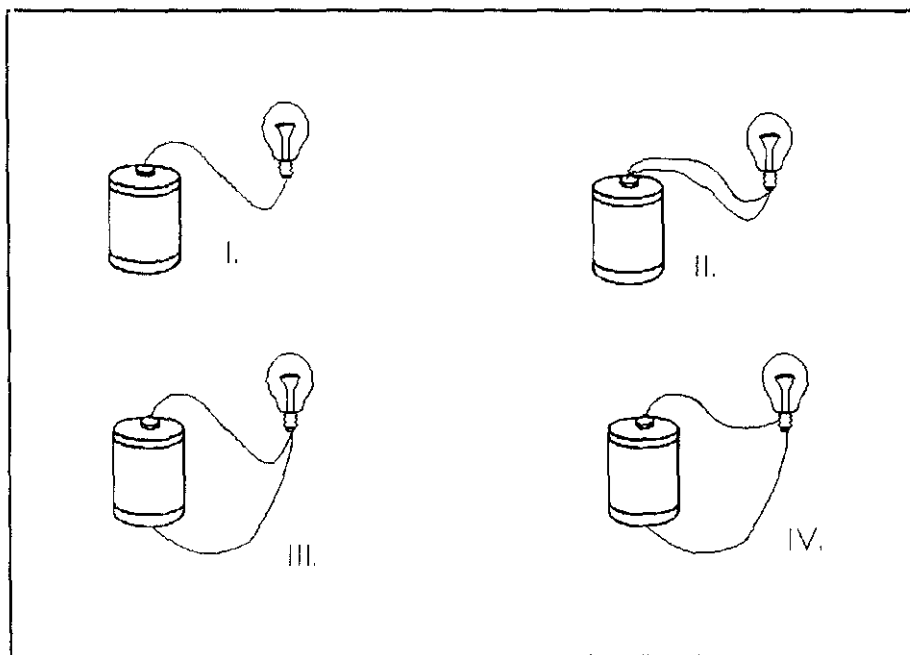


FIGURA 4.2. Modelos detectados de circuito eléctrico

Detrás de los modelos **I** , **II** y **III**, algunos autores creen que hay un esquema común de razonamiento que gráficamente podríamos representar por el esquema que aparece en la Figura 4.3.

Este esquema responde a un pensamiento lineal causa objeto o a un **razonamiento EGC (Experiential gestalt of causation)** el cual vendría caracterizado por:

- 1) Un aumento por parte de A produce un incremento del efecto sobre el objeto.

- 2) Cuanto mayor es la resistencia ejercida por O, más pequeño será el efecto que se produce sobre él.
- 3) Varios A juntos aumentan el efecto sobre O
- 4) A veces no hace falta contacto físico y en estos casos el efecto depende de la distancia.

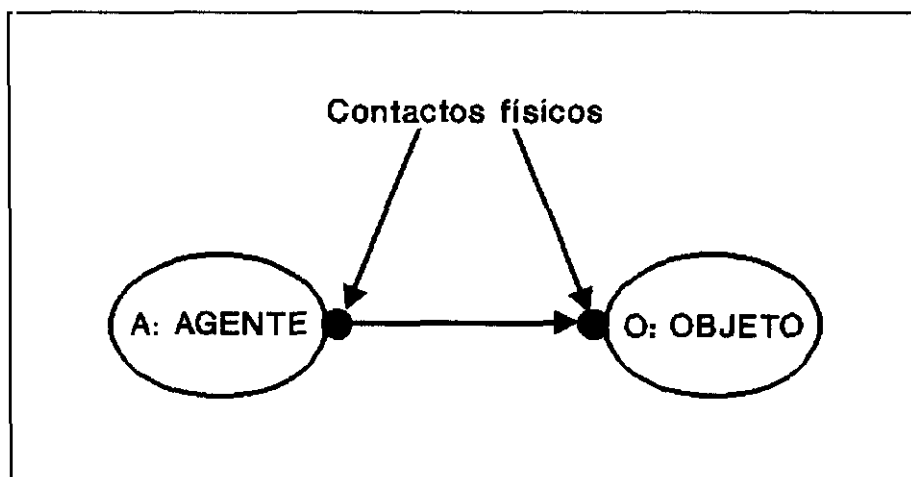


FIGURA 4.3. Esquema de razonamiento. (Andersson, 1986)

Para el caso del circuito eléctrico el esquema quedaría como se muestra en la Figura 4.4.

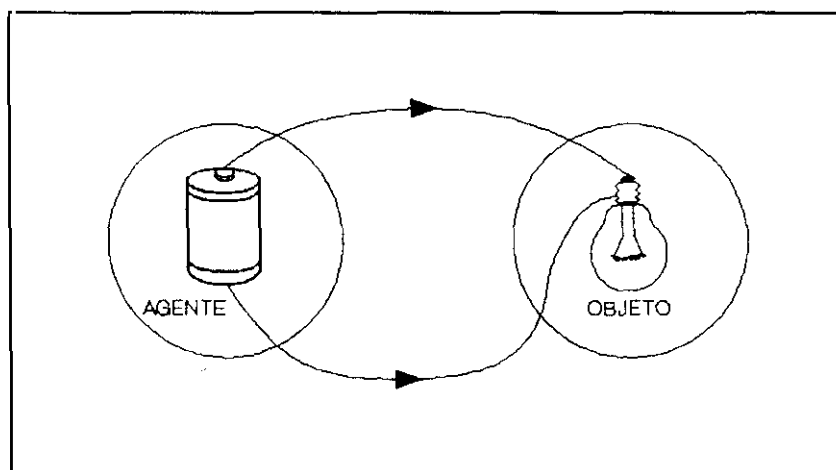


FIGURA 4.4. Esquema de circuito (Andersson, 1986)

En un trabajo con 600 alumnos suecos entre 12 y 15 años Andersson y Kärqvist (1979), (citado por Andersson, 1986) encontraron que un 80% contestaban utilizando razonamientos como los descritos.

Modelos similares a los que hemos comentado, aparecen en las investigaciones de Tiberghien y Delacotte (1976), con niños franceses entre 7 y 13 años mediante la utilización de una metodología manipulativa. Los autores concluyen que fundamentalmente **los alumnos trabajan con un modelo unipolar que respondería al principio casua → efecto.**

Varela et al. (1988, 1993) sobre una muestra española formada por 270 alumnos de 16 años, encontraron que el 54% de los encuestados respondía a los modelos **I, II y III** anteriormente descritos. La explicación mayoritariamente aportada iría en el sentido "**fuelle → consumidor**" según la cual muchos estudiantes piensan en la electricidad como un fluido que se almacena en las baterías y se gasta en el funcionamiento de distintos aparatos.

4.3. LA CONSERVACION DE LA CORRIENTE ELECTRICA

4.3.1. CIRCUITOS ELECTRICOS SIMPLES

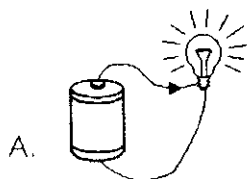
Es muy frecuente en los sistemas de enseñanza habituales comenzar el estudio de la Electrocínética introduciendo el concepto de intensidad de corriente eléctrica, generalmente a partir de la idea del movimiento de cargas en materiales conductores y aislantes. Osborne (1981, 1983) y Gauld (1985) han investigado con diferentes muestras de alumnos las ideas que éstos tienen acerca de cómo circula la corriente eléctrica en circuitos elementales, llegando a diferenciar los modelos que se describen en la Figura 4.5.

Es fácil deducir que detrás de los **modelos A y B** subyace la idea fuente-consumidor ya comentada en el apartado anterior. Esta idea, sumamente intuitiva, ha sido explorada por diferentes autores de los que podemos destacar a Fredette (1980), Johsua (1983), Tiberghien (1983) y Andersson (1986). Los profesores Dupin y Johsua (1986), han realizado un trabajo muy interesante con una muestra de 1.065 alumnos de escuelas primarias, liceos y universidades del sur de Francia, destacando en las conclusiones que la llamada por ellos "**metáfora del fluido**" en movimiento está arraigada fuertemente en las representaciones que los estudiantes tienen de cómo funciona un circuito eléctrico persistiendo a lo largo de toda la enseñanza.

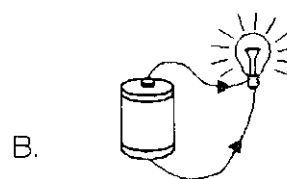
Desde los primeros contactos con la Electrocínética el alumno elabora una representación básica consistente en pensar que la corriente eléctrica es como una especie de fluido encerrado en los "tubos", pero la naturaleza de este fluido es ambigua, mixta. Descrito desde un punto de vista del físico, este fluido presenta un aspecto "material" y un aspecto "energético" íntimamente mezclados en el pensamiento del alumno.

Una batería se conecta a una bombilla como se muestra en el diagrama. La bombilla está luciendo.

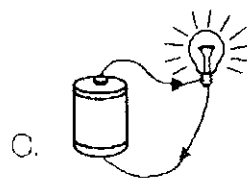
¿Con qué diagrama piensas que se describe mejor la corriente eléctrica en los cables?



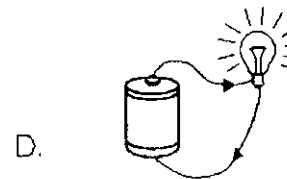
No habrá corriente en el cable conectado a la parte baja de la bombilla.



La corriente eléctrica irá en dirección a la bombilla en ambos cables.



La dirección de la corriente es como se muestra. La corriente será menor en el cable de retorno.



La dirección de la corriente es como se muestra. La corriente será la misma en ambos cables.

Explica tu elección.

FIGURA 4.5. Modelos de circulación de la corriente eléctrica en circuitos sencillos (Osborne, 1983)

En el **modelo C**, llamado **de gasto**, está implícita la idea de consumo de corriente provocada por la confusión entre los términos de corriente y energía, que aparece ya en alumnos muy jóvenes. Esta confusión es atribuida por algunos autores al uso de estos términos en la vida cotidiana, donde se utilizan en un sentido que no tiene porqué coincidir con el que le dan los físicos (Solomon, 1985, Andersson, 1986, Llorens, 1991).

En el trabajo citado de Dupin y Johsua los autores opinan que este **modelo C** pertenece a un estadio más elaborado que los anteriores. La modelización por parte de los alumnos llevaría ahora a pensar que el fluido tiene dos aspectos (material y energético). El problema que se plantea ahora es **¿Cómo el mismo fluido puede ser "consumido" (bajo un aspecto energético) y "conservado" (bajo un aspecto material) ?**. Uno de los modos de resolver esta contradicción es que la corriente se "usa parcialmente" al paso por la bombilla; la pila es concebida como un almacén de fluido. Esta concepción es particularmente resistente a la enseñanza.

En España, Varela et al. (1988, 1993) han estudiado la presencia de estos modelos dentro de las muestra citada en el apartado anterior, encontrando que solo un 27,3 % contestan ajustándose al modelo científico, siendo el más aceptado el **modelo B (classing o concurrente)** que es escogido por un 45,5% de los estudiantes. Algunos de los comentarios apoyando su elección, obtenidos mediante entrevistas, fueron: *"el caso B porque los dos polos de la batería generan corriente"* y *"el B porque la energía de las pilas va por los dos cables a la bombilla, mientras que en los demás casos no"*

4.3.2. CIRCUITOS ELECTRICOS COMPLEJOS

D. Shipstone (1984, 1988) ha investigado sobre el pensamiento de los alumnos cuando se enfrentan a circuitos más complejos, por ejemplo con más de una bombilla, y ha estudiado su evolución desde los 12 a los 17 años. Identifica los mismos modelos que R. Osborne, salvo que en el **modelo C** (gasto) aparecen dos variantes: **modelo de atenuación** en que la intensidad de corriente va disminuyendo al atravesar los distintos elementos del circuito (las bombillas más alejadas brillan menos), y el **modelo de reparto** en el que la corriente se reparte equitativamente entre elementos idénticos del circuito (las bombillas iguales brillan igual).

En las conclusiones de este trabajo hay que destacar que los modelos descritos presentan un máximo de implantación alrededor de los 14 años (aproximadamente un 60%), hecho que el autor atribuye a una confusión en este nivel de enseñanza entre la corriente, por un lado, y la energía, potencia y voltaje por otro, magnitudes que se reparten por igual en lámparas idénticas. Al final del período estudiado, estos modelos bajan un 35%, el resto de los alumnos han evolucionado hacia el modelo científico.

Con ánimo de profundizar en las ideas de los alumnos cuando tienen que resolver circuitos con varios elementos en serie y en paralelo, Dupin y Johsua (1989) han pasado una serie de cuestiones que vamos a comentar:

a) Conservación de la corriente a lo largo de un circuito serie. La prueba utilizada se presenta en la Figura 4.6.

En el circuito siguiente las dos lámparas L_1 y L_2 son diferentes. El amperímetro A_1 marca 2 amperios. ¿Cuánto marcarán los amperímetros?

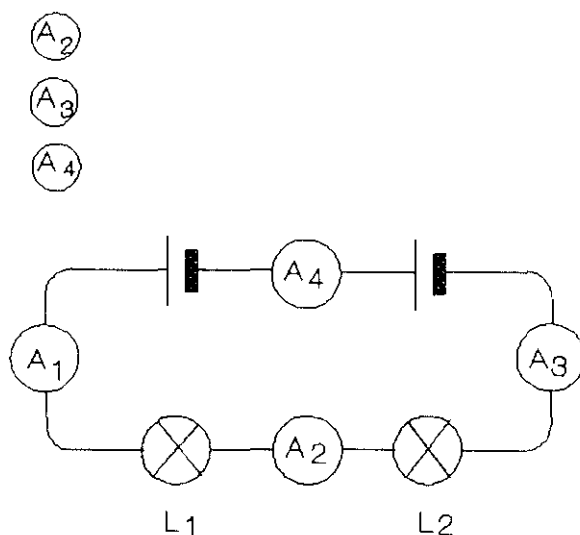


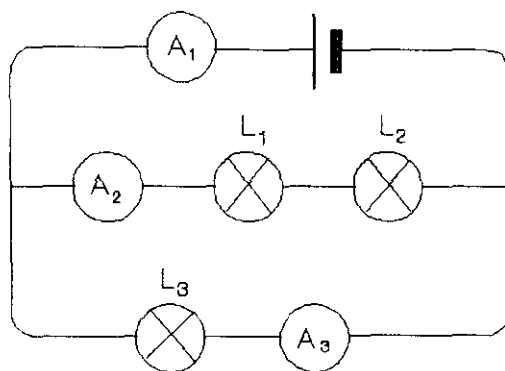
FIGURA 4.6. Conservación de la corriente en un circuito serie (Dupin y Joshua, 1989)

Sobre una muestra escogida al azar de 124 alumnos franceses que han terminado el grado 10 (media entre 15 y 16 años), solo el 46% afirman que pasa la misma intensidad por los tres amperímetros. En opinión de los autores el punto de mayor dificultad debería introducirlo el A_4 colocado entre los dos pilas. Sin embargo, el porcentaje mayor de equivocaciones aparece en la contestación relativa a A_2 , donde los alumnos quedan bloqueados por el hecho de que L_1 y L_2 sean diferentes.

b) Conservación de la corriente en un circuito paralelo. La pregunta empleada para determinar la conservación de la corriente a lo largo de las ramas viene representada en la Figura 4.7.

En el circuito siguiente las lámparas L_1 , L_2 , L_3 son idénticas. El amperímetro A_2 mide I amperios y el amperímetro A_3 mide $2I$ amperios.

- ¿Cuál es la intensidad en la lámpara L_1 ?
- ¿Cuál es la intensidad en la lámpara L_2 ?
- ¿Cuál es la intensidad en la lámpara L_3 ?
- ¿Qué valor indica el amperímetro A_1 ?



Razona tu contestación.

FIGURA 4.7. Conservación de la corriente en un circuito paralelo (Dupin y Joshua, 1989)

Esta cuestión, según los autores, combina la conservación de la corriente a lo largo de una rama con la verificación sobre la aditividad de la corriente en los nudos. Sobre la misma muestra comentada anteriormente, los porcentajes de aciertos globales obtenidos han sido del orden del 38%

Como conclusión de los datos presentados, los autores afirman que con una enseñanza tradicional no está asegurado en absoluto que los alumnos asuman el principio elemental de la conservación de la corriente.

4.4. RAZONAMIENTO SECUENCIAL

Cuando los circuitos se hacen más complejos, incluyendo varios elementos: resistencias eventualmente variable, bombillas, etc., los razonamientos de los alumnos responden a un análisis local del circuito, en el que se supone que si se introducen variaciones en un elemento del circuito, esto sólo afectará a la corriente que sale de él, pero no a la que llega, y por lo tanto sólo los elementos que están colocados "detrás" del elemento variable sufren algún efecto en su funcionamiento.

El modelo descrito es fácil de visualizar y muy atractivo para los estudiantes, habiendo sido investigado fundamentalmente por Closset (1983, 1989) y Shipstone (1984), los cuales lo atribuyen a lo que han llamado **razonamiento secuencial**. J.L. Closet ha trabajado con una muestra de alumnos franceses a los que presentó la prueba que aparece en la Figura 4.8.

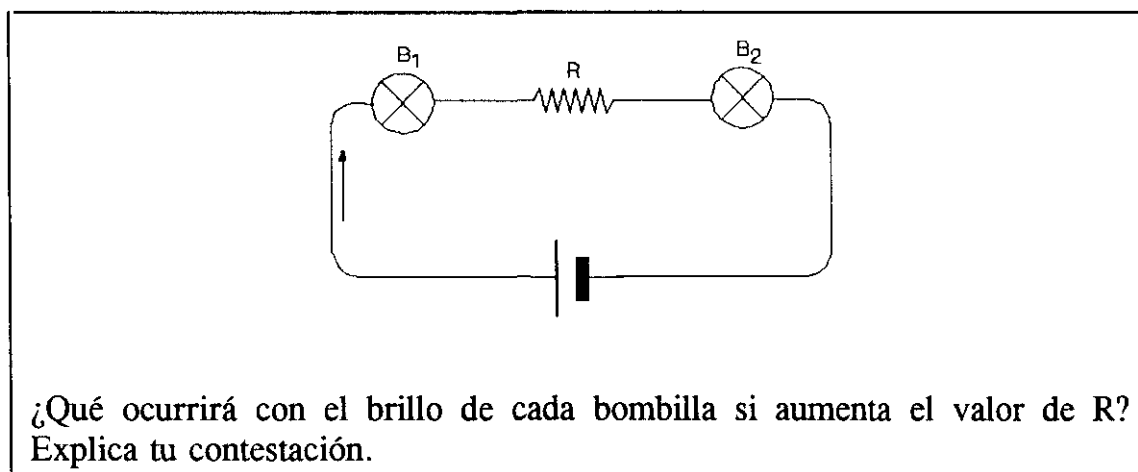


FIGURA 4.8. Estudio del razonamiento secuencial (Closset, 1983)

Contestaciones del tipo: "la bombilla **B1** brillará igual que antes de modificar el valor de la resistencia porque está antes y la **B2** brillará menos porque está detrás" , que incluyen razonamientos secuenciales, son utilizados por el 51 % de los alumnos al finalizar la enseñanza secundaria y el 11 % después de acabar el primer ciclo de enseñanza universitaria.

D. Shipstone ha estudiado la evolución de este tipo de razonamiento en alumnos entre 12 y 17 años en Gran Bretaña y los resultados son sorprendentes. Cuando se les presentó la prueba que aparece en la Figura 4.9. se encontraron los resultados siguientes: sobre los 14 años, el 80 % de los alumnos resuelven los circuitos mediante un razonamiento secuencial, y a los 17 años todavía lo aplican un 35 %.

R_1 y R_2 son resistencias que pueden aumentar o disminuir cada una.

a) Si se disminuye R_1 , el brillo de la bombilla debe:	
AUMENTAR	DISMINUIR QUEDAR IGUAL
b) Si R_2 aumenta, el brillo de la bombilla debe:	
AUMENTAR	DISMINUIR QUEDAR IGUAL
c) Si R_1 aumenta, el brillo de la lámpara debe:	
AUMENTAR	DISMINUIR QUEDAR IGUAL
d) Si R_2 disminuye, el brillo de la bombilla debe:	
AUMENTAR	DISMINUIR QUEDAR IGUAL

FIGURA 4.9. Estudio del razonamiento secuencial en circuitos serie (Shipstone, 1984)

Posteriormente D. Shipstone trabajó con circuitos que presentaban derivaciones como el mostrado en la Figura 4.10.

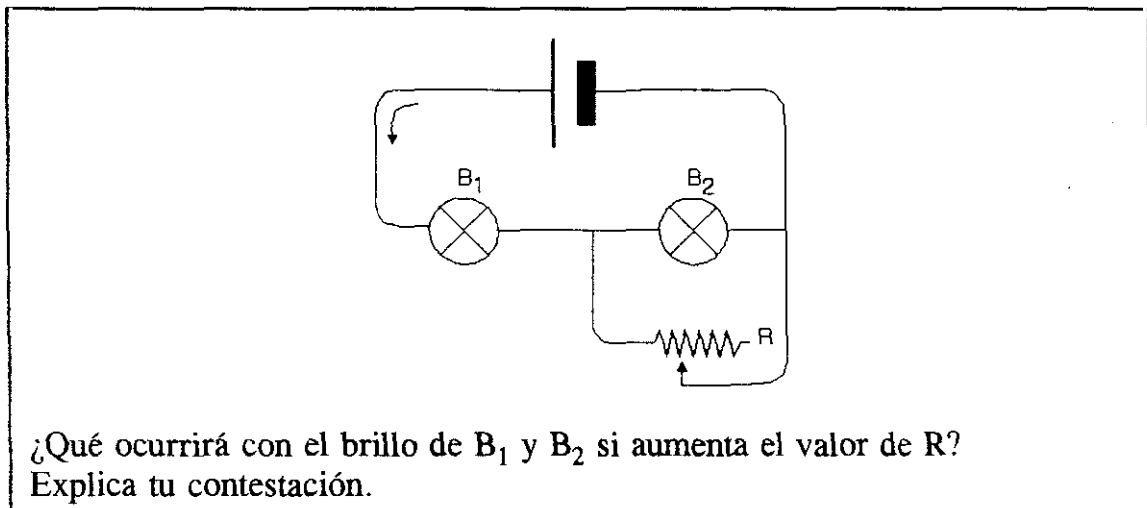


FIGURA 4.10. Estudio del razonamiento secuencial en circuitos con derivaciones (Shipstone, 1984)

Cuando los estudiantes aplican el modelo secuencial a la resolución de este circuito, la conclusión es que **B2** no varía debido a que la corriente que pasa por ella ya se ha dividido anteriormente por los dos ramas y por lo tanto no le afectará el cambio. La información del cambio habido en **R** solo se transmite hacia adelante, en el sentido de la corriente y no hacia atrás. Por la misma razón **B1** no se verá afectada por los cambios en **R**. Los porcentajes obtenidos por este autor para las muestras utilizadas son muy significativos: del orden del 60% utilizan el modelo secuencial en su contestación.

Como conclusión de todos los trabajos presentados podemos indicar que los problemas derivados de emplear **razonamientos secuenciales tienen una gran implantación, tanto en estudiantes de secundaria como universitarios**. Este hecho ha sido explicado por los especialistas en el tema que han dado diferentes opiniones sobre el origen del problema:

a) Algunos autores lo achacan fundamentalmente a razonamientos intuitivos. Dupin y Joshua lo consideran un razonamiento coherente con la metáfora del fluido.

b) Otros opinan que es achacable a las estrategias empleadas en la enseñanza de los circuitos. De hecho aparecen cuando se introduce a los alumnos en el estudio de circuitos más complejos (Hartel,1982).

c) En otra línea se encuentran aquellos investigadores que lo atribuyen a la dificultad de los estudiantes cuando tienen que enfrentarse a problemas en que se producen cambios simultáneos en más de una variable (Cohen et al., 1983).

d) La idea más ampliamente aceptada es que **la aparición de modelos secuenciales va unida a la no aceptación del circuito como un sistema en interacción o en equilibrio donde un cambio en cualquier elemento afecta a todo el circuito.**

4.5. EL PROBLEMA DEL VOLTAGE

Parece que hay establecido en este momento un consenso entre los investigadores en este campo sobre la idea alternativa que tienen un gran número de estudiantes en el sentido de considerar que **el voltaje es una "consecuencia" de que la corriente circula en un circuito y no su "causa"** .

En la línea apuntada Maichle (1981), citado por Rhöneck (1983) y Shipstone (1984) les presentó a 400 alumnos alemanes de 13 a 15 años, una prueba de tipo declarativo como la que aparece en la Figura 4.11. Aproximadamente dos terceras partes de la muestra contestaron en el sentido de considerar falsa la segunda declaración.

Las siguientes frases relacionan la corriente eléctrica y el voltaje eléctrico. Pon una cruz en la casilla correspondiente si crees que la frase es verdadera, falsa o no lo sabes.			
	V	F	No sé
- El voltaje y la corriente eléctrica existen siempre juntos.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
- El voltaje puede existir sin una corriente eléctrica.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
- La corriente eléctrica puede existir sin voltaje	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Explica tu contestación.			

FIGURA 4.11. Relación corriente-voltaje (Rhöneck, 1983)

Esta misma prueba ha sido utilizada por Dupin y Joshua en el trabajo ya citado en el apartado anterior, resultando los siguientes porcentajes:

	<u>% DE ACIERTOS</u>
Voltaje y corriente existen siempre unidos	48
Voltaje puede existir sin corriente eléctrica	47
Corriente eléctrica puede existir sin tensión	25

Los resultados, aunque un poco por encima de los aportados por Maichle, hacen considerar a los autores que el concepto de voltaje y su discriminación del concepto de corriente eléctrica es una cuestión delicada a la que hay que prestar una gran atención.

Otro trabajo interesante sobre los puntos de vista de los alumnos frente a la palabra **voltaje** ha sido el realizado por Psillos et al. (1988) en Grecia. La primera prueba y los resultados obtenidos con 90 alumnos que iban a comenzar la enseñanza secundaria (13-14 años) se presenta a continuación:

i) ¿Cuál de las siguientes palabras te resulta más familiar? (Escoge dos de ellas)

<u>PALABRAS</u>	<u>N (Total)</u>	<u>%</u>
Voltio	66	74
Kilowatio	51	58
Kilowatiohora	11	12
Amperio	6	6
Culombio	1	1

ii) Da ejemplos donde hayas detectado el término voltio

	Nº de Alumnos	% (sobre 66)
Pilas	35	53
Aparatos eléctricos	8	12
Bombillas	6	9
Misceláneos	8	12
No contestan	9	14

iii) ¿Qué opinas sobre el término voltio?

CATEGORIAS	N	% (Sobre 66)
a) El voltio indica cuanta corriente (o energía o electricidad) existe dentro de una pila.....	17	26
b) El voltio es una unidad de medida de corriente o electricidad.....	14	21
c) El voltio indica la fuerza (o peso o potencia) de la corriente.....	11	17
d) Miscelánea.....	3	4
e) No responden.....	21	32

Las mismas cuestiones fueron planteadas en una segunda prueba similar a la primera, pero de formato cerrado. Las contestaciones de los estudiantes griegos corroboraron las obtenidas en la prueba abierta y de todo ello los autores concluyen lo siguiente:

-La mayoría de los alumnos se refieren en sus respuestas a algo (corriente, electricidad, energía) que existe en la pila o se consume en la bombilla u otro aparato. Sugieren que para ellos el voltio podría ser "*una cantidad de algo*", por ejemplo: corriente o energía. La pila sería en consecuencia un contenedor de ese "algo"


-Algunos alumnos conciben el voltio como una unidad de medida de "electricidad" o corriente o energía.

-Otra tendencia es considerar el voltio como la "*fuerza de la corriente*", "*electricidad*" o energía y para algunos la "*fuerza*" o el "*poder*" de la pila.


El problema de conceptualización del voltaje se ha planteado también por diversos autores mediante ejercicios donde los estudiantes tienen que interpretar los esquemas que se les presentan. Así, el citado Maichle trabajó con una prueba como la que aparece en la Figura 4.12 cuyo objetivo es comprobar si los alumnos reconocen la existencia de voltaje o tensión incluso cuando la pila no está suministrando corriente, permitiendo también explorar si la corriente está claramente asociada a la necesidad de circuito cerrado.

Esta cuestión ha sido recogida también por Dupin y Joshua en el estudio transversal con estudiantes franceses que comentábamos en el apartado anterior. El análisis que hacen de los resultados obtenidos es el siguiente: **hace falta llegar al primer año de Universidad para sobrepasar el 50% de las respuestas correctas a la totalidad de la cuestión.** Sin embargo, una gran parte de los individuos que responden incorrectamente reconocen que la corriente no existe más que en el caso del circuito cerrado (opción C de la prueba) añadiendo por tanto que es el único caso en que existe tensión. Comentan los autores que el


Observa los cuatro dibujos: A, B, C, y D




A.



B.



C.



D.

Lee cada una de las frases y pon una cruz en la casilla o casillas en las que creas que la frase es cierta. Si no lo sabes, marca la casilla correspondiente.

	A	B	C	D	no se
a) La lámpara brilla en la figura	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
b) Hay corriente eléctrica en la figura	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
c) Existe voltaje en la figura	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Razona tu contestación.

FIGURA 4.12. Relación corriente-voltaje (Maichle, 1981)

efecto de la enseñanza no se observa hasta llegar al 4º grado (aproximadamente 13-14 años) donde se introduce la tensión en forma "operatoria" y esta lleva a un aumento de un 50% de respuestas acertadas.

Más recientemente las pruebas de Maichle han sido utilizadas por Rhöneck y Grob (1987), en Alemania para estudiar la evolución de las representaciones en un grupo de 10 estudiantes escogidos por su alto nivel de rendimiento. En la prueba inicial únicamente la mitad de los estudiantes contestaron correctamente a los dos items

Varela et al. (1993) también han utilizado la citada prueba en un estudio con 144 alumnos de Institutos de Madrid (nivel 2º de BUP). El análisis de las contestaciones, tanto de la prueba escrita como de las entrevistas, permitió establecer las siguientes categorías con los porcentajes que se indican en cada una de ellas:

I - Alumnos que reconocen la existencia de voltaje aunque no haya intensidad de corriente (22,5 %).

II - Alumnos que asocian la existencia de voltaje con la circulación de corriente (17 %).

III - No codificables (60,5 %)

Al analizar los resultados se comprueba el bajo número de alumnos que son capaces de diferenciar entre intensidad de corriente y voltaje. Esta cuestión presenta una gran dificultad, agravada por la utilización indistinta que se hace de estos términos en el lenguaje cotidiano. También hay que señalar el gran porcentaje de respuestas que se incluyen en el apartado "no codificables" debido, fundamentalmente, a su falta de conocimiento sobre el tema.

Otro tipo de pruebas que se han utilizado para explorar el concepto de voltaje han sido ejercicios de carácter "operacional" donde las opciones de los estudiantes tienen que aparecer a través de magnitudes físicas utilizadas en circuitos eléctricos. Así Rhöneck (1983) y Maichle (1981) ,utilizaron pruebas como las que se presentan en las figuras 4.13 4.14. con muestras de estudiantes alemanes de enseñanza secundaria.

Alrededor del 87 % fracasaron en ambos casos antes de recibir enseñanza sobre la diferencia de potencial. Después de la instrucción el fracaso sólo llegó a reducirse al 84 %. Estos resultados apoyan la idea comentada al principio de este apartado en el sentido de que **la diferencia de potencial o voltaje es para los alumnos una consecuencia de la corriente eléctrica y no al revés: el reconocimiento de una tensión nula entre dos puntos de un circuito por el que pasa la corriente resulta muy difícil.**

A la vista del circuito, marca la respuesta correcta:

4,5 v 0 v No sé

-La diferencia de potencial entre A y B es...

-La diferencia de potencial entre C y D es...

-La diferencia de potencial entre E y F es...

Explica tu contestación.

FIGURA 4.13. Concepto de diferencia de potencial (Rhoneyck, 1985)

A la vista del circuito, marca la respuesta correcta:

4,5 v 0 v No sé

-La diferencia de potencial entre A y B es...

-La diferencia de potencial entre C y D es...

-La diferencia de potencial entre E y F es...

Explica tu contestación.

FIGURA 4.14. Concepto de diferencia de potencial (Rhoneyck, 1985)

En la misma línea que estamos comentando, Cohen et al. (1983), han realizado investigaciones con estudiantes y profesores de Física de Israel. Del análisis de resultados obtenidos (la muestra estaba constituida por 145 estudiante de 17-18 años y 21 profesores), los autores sacan conclusiones similares a los ya comentados, aunque llaman la atención sobre el hecho de que los estudiantes utilizan la noción de potencial en el marco de la ley de Ohm $V = R I$ donde la corriente aparece como concepto primario: si $I = 0$ la consecuencia es que $V = 0$. Este razonamiento va unido a la idea de que una pila es a menudo considerada como una fuente de intensidad constante y no como una fuente de voltaje.

Uno de los ítem empleado por estos autores es el que aparece en la Figura 4.15.

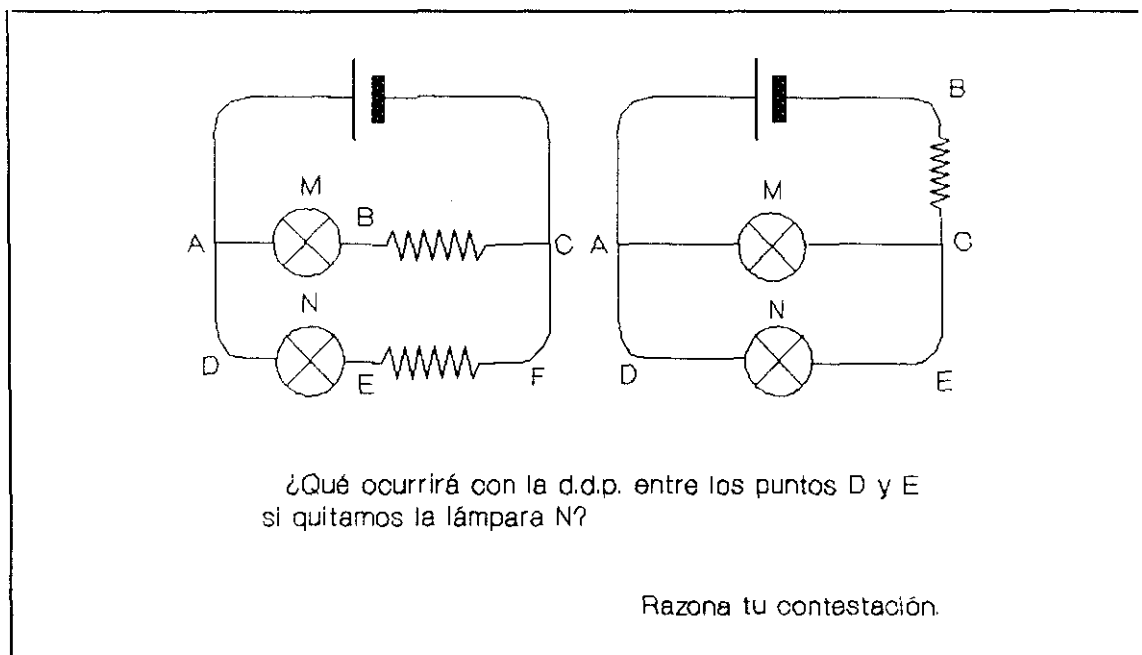


FIGURA 4.15. Conservación de la diferencia de potencial (Cohen et al, 1983)

Las respuestas obtenidas han sido: "*al quitar la bombilla, la intensidad es nula y por lo tanto la tensión es nula también*" (45 % de alumnos para el caso A y 35 % para el caso B). Los estudiantes realizan una aplicación mecánica de la ley de Ohm. En cuanto a los profesores de Física la opción más escogida, un 47%, fue la que indicaba que la tensión en los bornes de la lámpara N no cambiará en ningún caso, opción incorrecta en ambos esquemas. Destacan Cohen et al. que, aunque profesores y alumnos fracasan mayoritariamente, los argumentos utilizados por cada uno de estos grupos son diferentes estando mucho más elaborados los utilizados por los expertos.

En la actualidad se sigue investigando acerca del problema del voltaje en el contexto de los circuitos eléctricos. Así, recientemente R.Millar (1993), ha realizado una aportación sobre la comprensión que de este concepto tienen los estudiantes británicos a los quince años, trabajando con pruebas cualitativas de lápiz y papel. Sus resultados muestran, de nuevo, que los alumnos a estas edades tienen dificultades para realizar análisis cualitativos incluso en situaciones sencillas, realizando sus predicciones a partir de análisis locales en lugar de utilizar un punto de vista global para predecir el comportamiento de los circuitos como sistemas.

4.6. CONSERVACION DE LA ENERGIA EN LOS CIRCUITOS ELECTRICOS

El problema de la conservación de la energía dentro de un circuito eléctrico está muy ligado a la idea que tienen los alumnos sobre el papel de la batería o pila dentro del mismo. Para los alumnos más jóvenes la pila representa un "almacén de electricidad". Se puede reconocer detrás de esta idea un razonamiento de tipo causal:

la pila (causa) -----> bombilla luciendo (efecto)

descrito ampliamente por Andersson y que según el autor subyace en muchos razonamientos elementales sobre circuitos. Nosotros lo hemos comentado en el Apartado 4.2.

A medida que los alumnos van avanzando en el aprendizaje de este campo, la idea inicial va evolucionando y en la enseñanza secundaria la pila se convierte en un "almacén de corriente eléctrica" que se va a ir gastando a lo largo del circuito. Esta idea permanece también en la enseñanza universitaria en porcentajes significativos.

D. Shipstone (1988) en un trabajo posterior a los que hemos comentado, recoge las opiniones de otros autores (Cosgrove et al. 1983) según los cuales el problema central del aprendizaje es la incapacidad de los alumnos para separar su idea de corriente eléctrica de la noción de energía. Según el autor la idea,

presentada anteriormente, **fuentesumidero**, (con que los alumnos inician sus estudios de circuitos) se aproxima mucho más a la noción científica de energía eléctrica que a la de corriente. Añade también la falta de precisión en el uso de la terminología por parte de los alumnos más jóvenes como un factor importante que impide el aprendizaje.

En la misma línea de tomar en consideración dificultades semánticas, Rhöneck (1983), afirma que **el 50% de una muestra de estudiantes alemanes de grado 6 utilizan la palabra corriente cuando se enfrentan al concepto de energía: "la corriente es energía"**.

Los ya citados Dupin y Joshua (1986), han explorado el tópico que nos ocupa en dos aspectos:

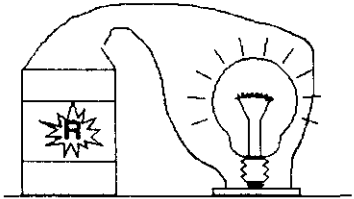
a) **Discriminación corriente/energía.** Cuando la muestra ya descrita anteriormente de 124 alumnos de grado 10 se les presentaba la frase:

<p>La corriente eléctrica es energía</p>

únicamente el 8% de los alumnos indicaron que la declaración era falsa. En opinión de los autores el problema estriba en que los alumnos no tienen una idea clara sobre qué es la energía y por lo tanto son incapaces de discriminar estos conceptos. Residuos de esta indiscriminación llegan hasta los universitarios.

b) **Conservación de la energía en un circuito por el que circula corriente eléctrica.** La prueba utilizada por Dupin y Joshua para investigar este punto se presenta en la Figura 4.16.

La bombilla del dibujo está conectada a la pila y brilla.



Dí lo que tu piensas de las frases siguientes:

	Verdad	Falso	No sé
1.- La bombilla consume una parte importante de la energía de la corriente eléctrica.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.- La bombilla consume una parte de la corriente eléctrica.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Razona tus contestaciones.

FIGURA 4.16. Conservación de la energía eléctrica (Dupin y Joshua, 1986)

El porcentaje de aciertos contabilizados para la primera declaración, a partir de los 12 años, es de aproximadamente un 75 %, pero este hecho va acompañado por un porcentaje similar de alumnos que fallan en la segunda declaración. El análisis que hacen los autores de esta situación es el siguiente: el afirmar que la energía eléctrica se consume en las bombillas puede que no sea sino una proyección directa del lenguaje cotidiano, sin ligazón estructurado con los conceptos que usa el físico en Electrocínética y por lo tanto compatible con la idea de que la corriente eléctrica se consume también en la bombilla. Una vez más parece confirmarse la analogía ya comentada de la **metáfora del fluido** con un doble aspecto "**energético**" y "**material**".

Cohen et al. (1983) han profundizado en el papel que juega una pila en un circuito, encontrando que la tercera parte de una muestra de alumnos encuestados de secundaria opera con la idea de **pila o batería como fuente de corriente constante**, e **incluso consideran que la intensidad entregada por la pila al**

circuito externo no cambia aunque se introduzcan modificaciones en este circuito. En esta línea, también han estudiado las dificultades intrínsecas que presentan para los alumnos los conceptos de fuerza electromotriz y resistencia interna de una pila.

4.7. A MODO DE SINTESIS

Como síntesis de todos los trabajos de investigación que hemos comenado a lo largo de este capítulo, vamos a presentar un resumen que recoge las ideas alternativas más relevantes para estudiantes de enseñanza secundaria, nivel en que hemos desarrollado la tesis doctoral que nos ocupa. Estas concepciones alternativas, tal como indicamos en la introducción del capítulo, han sido utilizadas para evaluar el posible **cambio conceptual** experimentado por la muestra investigada.

A) En lo relativo a la conservación de la corriente eléctrica

- La corriente se almacena en la pila desplazándose muy deprisa o instantáneamente a través del circuito. Se presenta a menudo ligada con el movimiento de electrones.

- Para un porcentaje significativo de alumnos la corriente parte de cada uno de los polos de la pila hacia la bombilla (corrientes antagonistas). Para otros, la corriente sale de un polo y retorna al otro consumiéndose sucesivamente al pasar por los elementos del circuito es decir, los alumnos no asumen que la corriente eléctrica se conserva en un circuito Lo que algunos autores han llamado "metáfora del fluido en movimiento", parece ser una idea bastante extendida entre los estudiantes

B) En lo relativo al razonamiento secuencial

En alumnos de cualquiera de las edades investigadas, no se acepta que un circuito es un sistema en interacción donde un cambio en cualquier elemento afecta a todo el circuito. Los razonamientos de los estudiantes responden a un análisis local del circuito, en el que se supone que si se introducen variaciones en un elemento del circuito esto, solo afectará a la corriente que sale de él, pero no a la que llega y por lo tanto solo los elementos colocados "detrás" del elemento variable sufren algún efecto en su funcionamiento.

C) En lo relativo al voltaje

- Los estudiantes enfatizan el concepto de corriente eléctrica (concepto de 1er orden) frente la diferencia de potencial (concepto de 2º orden) cuando analizan los circuitos eléctricos. Consideran que el voltaje es una "consecuencia" de que la corriente circule en un circuito y no su "causa".

- Se considera el voltaje o la diferencia de potencial como una magnitud que se introduce a través de una relación matemática que no dominan, como tampoco dominan las condiciones de su utilización. Una aplicación indiscriminada de la ley de Ohm conduce a no reconocer la existencia de diferencia de potencial aunque no circule corriente eléctrica.

- Muchos de los problemas comentados se arrastran hasta la Universidad donde son capaces de utilizar $V = R I$ pero tienen dificultades para interpretar circuitos sencillos, de forma cualitativa, utilizando a la vez las dos variables I y V .

D) Acerca de la conservación de la energía.

- En opinión de los estudiantes la pila se comporta como el "almacén de corriente eléctrica" que se va a ir gastando a lo largo del circuito. La corriente depende de la pila y nada más que de ella (modelo de generador de corriente constante) su valor, por tanto, no va a venir influido por los elementos del circuito ni por las posibles variaciones que se produzcan en ellos.

- Existe en los alumnos cierta incapacidad para separar su idea de corriente eléctrica de la noción de energía, además de no ver claramente que a este tipo de sistemas pueda aplicarse también al principio de conservación de la misma.

Para terminar con el resumen que hemos presentado, vamos a comentar un importante **trabajo europeo de síntesis** donde se ha puesto de manifiesto que **existe un amplio consenso acerca de las concepciones alternativas de los estudiantes en el campo de la Electrocínética básica** siendo precisamente estas ideas las que nosotros hemos reseñado a lo largo del capítulo, (Shipstone, Rhöneck, Jung, Kärrqvist, Dupin y Licht, 1988). Este grupo de profesores se comprometieron a realizar una serie de investigaciones sobre los conceptos básicos de Electricidad en una muestra de 1250 alumnos, entre 15 y 17 años, ingleses, franceses, alemanes, holandeses y suecos. El test utilizado constaba de trece ítems encaminados a explorar las siguientes ideas:

- 1. Necesidad de un circuito cerrado. Diferencia entre corriente y voltaje.**

- 2. Conservación de la corriente en un circuito.**

- 3. Relación causal entre corriente y voltaje. Relación entre corriente y energía.**
- 4. Flujo de carga en un circuito simple. Flujo de energía.**
- 5. Estudio de circuitos sencillos en serie y paralelo.**
- 6. Conservación de corriente en un circuito.**
- 7. Corriente y voltaje en un circuito paralelo.**
- 8. Corrientes en circuitos paralelos.**
- 9. Estudios fenomenológicos de circuitos en serie y paralelo.**
- 10. Distribución de voltajes a través de cables y elementos en circuitos.**
- 11. Reparto de la corriente en las ramas de los circuitos paralelo.**
- 12. Influencia del orden de los componentes en el comportamiento de un circuito serie. Efecto del cambio del valor de las resistencias.**
- 13. Corriente en circuitos paralelos. Efecto del cambio del valor de las resistencias.**

Los modelos de las pruebas empleadas coinciden mayoritariamente con los que ya hemos descrito a lo largo de los apartados anteriores completándose con otras muy similares. En las conclusiones del trabajo los autores destacan:

- A pesar de su diferente procedencia y por lo tanto haber sido sometidos previamente a sistemas de enseñanza distintos, los alumnos presentan los mismos modelos de concepciones alternativas (no conservación de la corriente, razonamiento secuencial, la pila como elemento que suministra corriente constante, indiscriminación voltaje/corriente).

- Aparecen diferencias significativas entre los rendimientos obtenidos en los distintos países en lo que concierne a dos grandes dominios: uno relativo a la corriente eléctrica incluyendo las ideas de flujo de carga y energía y otro que hace referencia al voltaje y su relación con la corriente. La consistencia de las diferencias detectadas sugiere que representan diferencias reales en los resultados de la enseñanza de la Electrodinámica entre los cinco países estudiados.

Las causas de estas diferencias no han sido todavía aclaradas por lo que el problema sigue abierto a nuevas investigaciones de estas características. Este tipo de estudios van a tener importantes implicaciones para la enseñanza de la Física.

CAPITULO 5

EL PROBLEMA DE LAS DIFERENCIAS INDIVIDUALES

5.1. INTRODUCCION

Tal como comentábamos en la **Introducción** de esta memoria, los investigadores en Didáctica de las Ciencias se han planteado, en el marco de las teorías psicológicas, la influencia de las características del sujeto que aprende, siendo hoy día un principio admitido por esta comunidad científica que, el proceso de aprendizaje de los individuos está influido por una serie de factores de muy distinto origen. En el **Capítulo 2** explicamos con cierto detalle uno de los posibles factores, el referente al enfoque de **las ideas alternativas** cuyo punto más importante consiste en admitir que los estudiantes llegan a nuestras aulas con una "física" y una "química" en sus mentes que les permite explicar el mundo que les rodea. En este capítulo nos vamos a referir a factores más entroncados en el terreno de la Psicología, tales como el **nivel de desarrollo del pensamiento formal** de los individuos y la influencia que en él tienen los denominados **estilos cognitivos**.

Como indican Carretero y Palacios, (1982) la historia de la Psicología se ha caracterizado por presentar una doble dimensión: por un lado la búsqueda de leyes y principios generales del funcionamiento cognitivo y por otra, el análisis de ese funcionamiento en tareas concretas. Comentan los autores que si la primera es más importante desde el punto de vista de la Psicología, la segunda dimensión ha permitido conocer las importantes diferencias que muestran los sujetos ante la misma situación tanto a la hora de comprenderla como de resolverla. Estas diferencias que tienen que ver más con "cómo es" la actuación cognitiva de los individuos que con el resultado final de esa actuación, se

conocen con el nombre de **estilos cognitivos** y han sido objeto de múltiples investigaciones no sólo en lo referente a su naturaleza y desarrollo sino en cuanto a sus implicaciones educativas.

En el artículo mencionado, se apunta también una idea, en nuestra opinión interesantísima:

"cada vez son más numerosos los intentos de relacionar la investigación sobre el desarrollo de los estilos cognitivos con temas más generales de la Psicología evolutiva como son, por ejemplo, la problemática de los desfases horizontales, las estrategias que se utilizan para procesar y almacenar la información que recibimos o la influencia de las pautas de crianza en la génesis del desarrollo cognitivo. Y estas investigaciones, constituyen pasos importantes, aunque todavía insuficientes, para construir una teoría psicológica integradora que pueda representar la génesis de la actuación del sujeto" (Carretero y Palacios, 1982 p22).

Con la finalidad de desarrollar estas ideas, la primera parte del capítulo está dedicada a esbozar el tema de los estilos cognitivos, particularmente el estilo **Dependencia-Independencia de campo** y su posible influencia tanto en la existencia de esquemas alternativos de los estudiantes, como en su posible evolución. Constataremos también la relación entre el DIC y la capacidad de los estudiantes para resolver problemas. En la segunda parte del capítulo analizaremos la influencia del **nivel de desarrollo cognitivo** en el aprendizaje de las ciencias utilizando como punto de partida las teorías de Jean Piaget matizadas posteriormente por las aportaciones neopiagetianas, en particular por las ideas de Pascual-Leone. Este autor ha tratado de explicar el hecho de que la competencia

formal de los individuos esté influenciada a la hora de actuar por sus diferentes estilos cognitivos, habiendo profundizado especialmente en el estilo dependencia-independencia de campo como un factor de importantes implicaciones para el estudio de las diferencias individuales.

5.2. LOS ESTILOS COGNITIVOS. EL ESTILO DEPENDENCIA-INDEPENDENCIA DE CAMPO.

5.2.1. ASPECTOS GENERALES

La problemática de los estilos cognitivos ha estado desde sus orígenes en la intersección entre la dimensión estrictamente cognitiva y la de distintos aspectos de la personalidad. La historia de la evaluación de este concepto ha sido compleja dando lugar a múltiples definiciones que en opinión de los autores citados anteriormente, Carretero y Palacios (1982), se pueden agrupar en dos orientaciones.

La primera de ellas pone el acento especialmente en el carácter fronterizo del constructo. Así para Witkin (1969)

"los consistentes modos de funcionamiento a los que llamamos estilos cognitivos son manifestaciones en la esfera cognitiva de dimensiones más amplias de funcionamiento personal evidentes también en otras áreas de la actividad psicológica individual. Los estilos cognitivos nos hablan, sobre otras cosas además de lo estrictamente cognitivo" (p 687).

La otra orientación pone el acento fundamentalmente en los aspectos cognitivos, señalando las diferencias que existen entre unos individuos y otros en

lo relativo a las estrategias y procedimientos que utilizan para resolver problemas; así Kogan (1971), citado por los mismos autores, afirma *"que los estilos cognitivos se pueden definir como la variación individual de los modos de percibir, recordar y pensar, o como distintas formas de almacenar, transformar y emplear la información"* (p 306).

En la actualidad, la corriente predominante está asentada en la segunda orientación admitiéndose, en síntesis, que **los estilos cognitivos de una persona determinada son el método cognitivo básico que utiliza para enfrentarse a todas las formas de estimulación sensorial estando en consecuencia, ligados con la forma de procesar el conocimiento.** No obstante resaltar la importancia de los aspectos cognitivos, dentro de esta panorámica general hay que indicar que existe cierto consenso en admitir que los estilos cognitivos son variables integradoras de otras muchas y, por tanto, pueden dar cuenta de la conducta global de los individuos.

Hoy día se admite la existencia de diferentes estilos cognitivos, dos de los cuales han sido investigados más ampliamente debido a sus implicaciones educativas: el estilo **reflexividad-impulsividad** y el denominado **dependencia-independencia de campo**. Respecto al primero, J. Palacios (1982) ha realizado una completísima revisión en castellano sobre trabajos que han explorado no solamente la naturaleza del constructo sino también aspectos metodológicos de su medición, dinámica psicológica subyacente a la reflexividad y a la impulsividad, relación con otras áreas de conducta y algunas de las implicaciones educativas que tiene la existencia de este estilo cognitivo. En esta memoria vamos a profundizar únicamente en el segundo, dada la relevancia que va a tener para el trabajo que hemos desarrollado.

El estilo cognitivo **dependencia-independencia de campo**, fue definido inicialmente por H.Witkin, en el marco de su **teoría de diferenciación psicológica**, como:

"el grado en que una persona percibe una parte del campo perceptivo, como separado del contexto que lo rodea, o el grado en que la organización de campo predominante determina la percepción de sus componentes; o por decirlo en palabras corrientes, el grado en que la persona percibe de forma analítica"
(Witkin et al. 1977, p 6).

Como consecuencia de esta definición, se puede afirmar que los sujetos **dependientes de campo tienden a percibir la información de una manera global fuertemente influenciados por el contexto** mientras que, los **independientes de campo tienden a percibirlo de manera analítica y sin dejarse guiar por el contexto**. Los autores llaman también la atención sobre el hecho de que estos dos tipos no son más que los extremos de un continuo.

En un intento de comprender mejor los términos empleados vamos a referirnos a las pruebas que utilizaron Witkin y sus colaboradores con la intención de medir el citado constructo. La finalidad de un primer grupo de ellas era determinar la percepción de la verticalidad que tienen los sujetos mediante experiencias como la siguiente: el individuo se sienta en un sillón que puede inclinarse a izquierda o derecha situado en el interior de una habitación impulsada por el experimentador sobre un carril circular pidiéndole, a continuación, que coloque su cuerpo en la posición vertical (**RR T:Rotating Room Test**). Otra modalidad más sencilla consiste en colocar verticalmente una varilla giratoria dentro de un marco luminoso inclinado, todo ello en el interior de una habitación

totalmente oscura (R F T: Rod and Frame Test). En ambas experiencias el sujeto carece de referentes externos.

El segundo grupo de pruebas tiene como elemento más representativo la denominada **EFT: Embedded Figures Test** (Test de Figuras Enmascaradas) consistente en un test de lápiz y papel en la cual el sujeto debe identificar una figura simple dentro de una figura compleja, en la que la figura simple está integrada. El factor relevante que se determina con esta prueba es la capacidad del individuo para romper un campo visual organizado a fin de quedarse con una parte de él y separarla del todo. Una versión de esta prueba para uso colectivo, **GEFT**, ha sido utilizada por nosotros en el desarrollo de la investigación.

A pesar de la distinta orientación que tienen las dos tipos de pruebas usadas en la medición del constructo DIC, los autores llegaron en una primera fase a las siguientes conclusiones : a) las tareas implicadas en los dos tipos de pruebas utilizadas para determinar el DIC (determinación de la verticalidad y desenmascaramiento de figuras) suponen, en cualquier caso, la reestructuración de un campo perceptivo complejo en ausencia de referentes externos, y b) las correlaciones encontradas entre los resultados obtenidos en los dos tipos de prueba pueden considerarse significativas en el sentido de considerar el carácter unitario del estilo DIC.

Estas conclusiones han sido posteriormente cuestionadas. Así por ejemplo, en nuestro país, J.M. García Ramos hace una crítica de fondo a estos razonamientos indicando que los dos tipos de pruebas trabajan sobre diferentes contenidos y, la naturaleza del contenido es un factor relevante para la determinación del constructo que nos ocupa. Apunta el autor: *"el contenido del test condiciona en un grado importante la tarea que pretende medir la prueba,*

dado que dicho contenido implica estrategias cognitivas del sujeto, diferentes de los que suponen tareas con un contenido distinto" (García Ramos, 1989 p 394). En cuanto a la segunda conclusión, García Ramos opina que, el dato de que los dos tipos de pruebas correlacionen significativamente, no implica que sean medidas equivalentes sino dependientes, afirmación confirmada por el hecho de que distintos estudios han demostrado que estas pruebas comparten no más de un 40 % de varianza.

En coincidencia con las ideas que estamos comentando, hay que apuntar que de hecho, H.A. Witkin y sus colaboradores, al final de los años setenta, empezaron a admitir que dentro de la dimensión DIC podrían incluirse varios subconstructos y en su obra: *Estilos cognitivos. Naturaleza y orígenes* (Witkin y Goodenough, 1981, traducida al castellano en 1985) hacen una revisión de sus aportaciones a la luz de los datos encontrados en diferentes investigaciones llegando a la siguiente conclusión: "*Ahora parece posible que lo que en principio designamos un enfoque articulado-global conste de dos funciones separadas pero relacionadas: la confianza en las referencias vestibulares o visuales y la reestructuración cognitiva*" (p 76).

Más adelante los autores insisten en esta idea indicando que las pruebas del tipo **RFT** miden fundamentalmente rasgos de personalidad mientras que la prueba **EFT** lleva aparejada medidas de razonamiento general y espacial. En la misma línea de aclarar la naturaleza del constructo DIC, existe un trabajo realizado por Linn y Kyllonen (1981) cuyo título: "*The Field Dependence-Independence Construct: Some, One, or None*" (El constructo dependencia-independencia de campo: Alguno, uno o ninguno), es suficientemente clarificador y en el cual los autores admiten dos dimensiones dentro del constructo DIC.

A partir de todas estas aportaciones podemos concluir, dejando un margen para la duda, **que se pueden diferenciar, dentro del DIC, al menos dos subconstructos: uno relacionado con la percepción de la verticalidad y otro que toma en cuenta procesos de reestructuración cognitiva**, y como consecuencia de esta división, cada uno de los tipos de pruebas empleadas estaría encaminado a determinar cada uno de estos aspectos. Los datos de validez y fiabilidad de las citadas pruebas serán abordados cuando describamos con detalle el instrumento empleado en nuestro trabajo de investigación (Apartado 6.4.3).

5.2.2. ESTILO DEPENDENCIA-INDEPENDENCIA DE CAMPO: RELACION CON OTRAS VARIABLES

Como ha quedado comentado en el apartado anterior, existe en la actualidad gran interés por relacionar el constructo DIC con múltiples variables tanto de tipo cognitivo como de personalidad. A continuación vamos a describir sucintamente algunas de las aportaciones realizadas.

a) Inteligencia y DIC. En cuanto a este tipo de relación, una vez más nos encontramos con los múltiples estudios realizados por Witkin tratando de correlacionar la puntuación en el constructo DIC con las calificaciones obtenidas en test generales de inteligencia. Los resultados ponen de manifiesto que los valores significativos aparecen cuando se relaciona el mencionado constructo con factores analíticos de la inteligencia, no encontrándose relación con aspectos de comprensión verbal o de atención- concentración lo cual ha llevado a concluir que la dimensión dependencia-independencia de campo es una característica perceptiva del funcionamiento intelectual, cuando se utiliza material visoespacial.

Estos resultados han sido corroborados por Fernández Ballesteros en un interesante trabajo de recopilación realizado en 1980.

b) DIC, sexo y edad. Resumiendo los resultados de diferentes investigaciones se puede concluir que existen diferencias intersexuales, en el sentido que las mujeres tienden a ser más dependientes de campo que los hombres, es decir, las mujeres parecen menos capaces de prescindir del campo visual en el que se incluye la configuración perceptiva que tratan de captar y este resultado está en consonancia con el dato de que las mujeres dan una puntuación más baja en pruebas de inteligencia no verbal. En cualquier caso la diferencia entre sexos es leve comparada con las amplias diferencias que se encuentran entre personas del mismo sexo.

En lo relativo a la edad, el constructo DIC tiende a aumentar, en el sentido IC desde los 10 a los 17 años momento en que se produce una estabilización hasta la edad adulta; a partir de los 35 años se ha encontrado una cierta evolución hacia la dependencia de campo. A pesar del aumento observado con la edad, cada persona tiende a mantener su posición relativa, comparada con los demás sujetos de su grupo, es decir, se considera el estilo cognitivo DIC como una característica estable de las personas que indica un modo de funcionamiento psicológico del organismo.

c) DIC y factores socioculturales. D.R.Goodenough (1978) (citado por García Ramos, 1989) señala que son muchos los factores que se han intentado relacionar con el estilo cognitivo DIC: conducta interpersonal, atención a estímulos sociales, efectos de ambigüedad de las situaciones, necesidad de

aprobación por parte de la comunidad, motivaciones sociales.... Los resultados parecen indicar que los sujetos dependientes de campo son más influenciables por los demás y menos capaces de confiar en sus propios juicios. Como consecuencia los individuos más dependientes suelen tener una más clara orientación social, es decir, conceden una gran importancia al medio social en el que se relacionan y no perciben sus intereses y actitudes como claramente diferenciadas de los intereses y actitudes de las personas que les rodean.

En el sentido que estamos comentando podría entenderse la diferencia anteriormente descrita entre hombres y mujeres como una consecuencia del aprendizaje por modelado ligado al rol sexual. Se ha comprobado que en culturas donde los roles sexuales presentan una mayor diferenciación, las diferencias entre hombres y mujeres en cuanto al DIC son más pronunciadas (Fernández Ballesteros, 1980).

d) DIC y rendimiento escolar. Aunque inicialmente se consideró que el estilo dependencia- independencia de campo tenía un valor neutral, numerosos estudios realizados han mostrado que los sujetos IC son superiores frente a los DC en un amplio rango de tareas cognitivas entre las que se encuentran las de resolución de problemas, adquisición de conceptos y control de variables; este hecho tiene como consecuencia que presenten mayores rendimientos en prácticamente todas las asignaturas del currículo. Tinajero y Páramo (1993), han realizado una revisión completísima de trabajos encaminados a estudiar la relación que estamos comentando. Estos autores presentan la información ordenada de acuerdo con la temática estudiada: Matemáticas, Lenguaje, Ciencias Naturales y Ciencias Sociales así como lo que denominan *rendimiento global* en el terreno escolar. De sus conclusiones destacamos lo siguiente:

"Los trabajos sobre la relación de la DIC con las calificaciones en las asignaturas tratadas ponen de manifiesto un mejor desenvolvimiento por parte de los IC o bien una ausencia de relación. Ello se verifica en todas las materias, incluso en aquellas que como las Ciencias Sociales parecían estar más ajustadas a las habilidades e intereses de los dependiente de campo. Aunque puedan existir diferencias en la significación de los resultados y éstos aún sean fragmentados, en ningún caso se ha comprobado un mejor rendimiento de los dependientes de campo". (Tinajero y Páramo, 1993 p 205).

La relación entre la dimensión dependencia-independencia de campo y la eficacia de los individuos cuando resuelven problemas, centrándonos en el campo de las Ciencias, la comentaremos en el Apartado 5.2.5 donde trataremos específicamente este tema debido a la relevancia que tiene para nuestra investigación.

Para terminar esta parte general, y por las implicaciones que va a tener en el trabajo que estamos presentando, la Figura 5.1 recoge, a modo de síntesis, una gráfica de las características de la dimensión dependencia-independencia de campo aportada por F.López-Rupérez (1989), donde se aprecia tanto las diferencias entre los individuos de acuerdo con esta dimensión, como el carácter continuo de la misma.

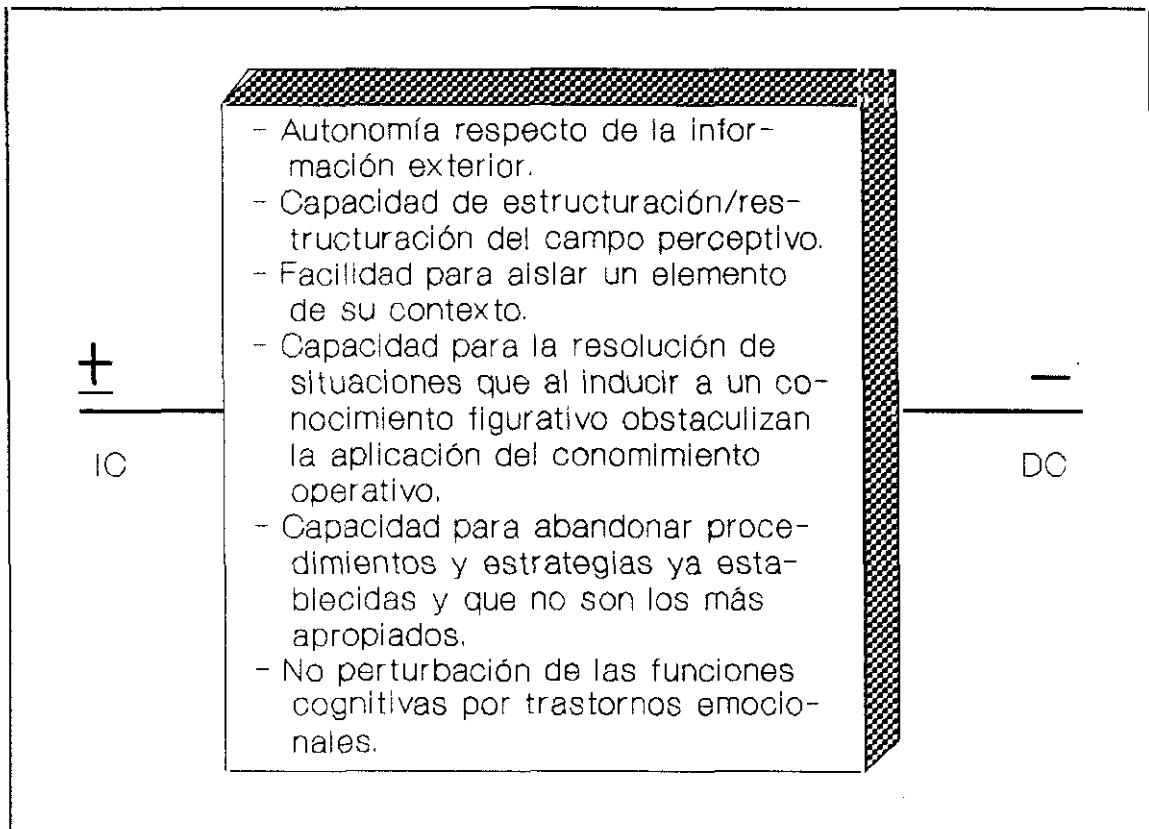


FIGURA 5.1. Características del estilo cognitivo DIC (López Rupérez, 1989)

5.2.3. DEPENDENCIA-INDEPENDENCIA DE CAMPO Y LA TEORIA DE LOS OPERADORES CONSTRUCTIVOS

La relación entre la teoría de la diferenciación psicológica de Witkin, particularmente de sus ideas sobre el estilo cognitivo dependencia-independencia de campo, y la teoría psicogenética de la escuela de Ginebra, ha dado lugar a una línea muy fructífera de investigación que arranca de los estudios de Pascual-Leone, autor de origen español, que colaboró inicialmente con J. Piaget entrando en contacto posteriormente con la escuela de Witkin.

La teoría neopiagetiana de Pascual-Leone, conocida como **teoría de los operadores constructivos**, parte de la idea piagetiana de **esquemas**, como unidades básicas del funcionamiento psicológico de los sujetos, mediante los cuales van a procesar la información que les llega procedente de diferentes situaciones. Los esquemas tienen que ser activados por el propio sujeto o por las señales que llegan del exterior. Pascual-Leone plantea la siguiente pregunta: ¿Qué factores determinan que algunos de los esquemas activados en una situación concreta (lo que él llama campo de activación) lleguen realmente a aplicarse, dando lugar a la actuación del sujeto?.

Para contestar a esta cuestión, el autor define siete operadores constructivos que van a actuar como factores activadores de esquemas y que en palabras del autor

"son metaconstructos, es decir son factores organísticos que, al actuar sobre los esquemas, aumentan su fuerza asimiladora o peso de activación. En el lenguaje de los programadores de computadores puede decirse que estos metaconstructos son operadores que no producen resultados sino solo efectos laterales".
(Pascual-Leone 1978 p 224).

De los siete operadores vamos a fijarnos, por su relación con el constructo DIC, en dos de ellos: el **operador M** y el **operador F**.

El operador M lo define el autor de dos formas:

"1) como una cantidad limitada de energía mental que puede utilizarse para activar los esquemas relevantes a la hora de realizar

una tarea determinada o, en otras palabras, como el número máximo de esquemas que puede utilizarse al mismo tiempo, y 2) como una especie de memoria de la que pueden extraerse los esquemas relevantes para la tarea no directamente activados por la entrada o la sobrepráctica a fin de aumentar su activación; en este sentido M parece corresponder a la función de almacén de memoria a corto plazo" (Pascual-Leone, 1978 p 224-225).

Llama la atención el autor sobre el hecho de que el poder de **M** aumenta en cada uno de los estadios de Piaget, es decir cada uno de estos estadios viene caracterizado por un valor de **M** siendo esta aportación una alternativa a las teorías de Piaget que podría explicar la existencia de los desfases horizontales. Las relaciones que aparecen entre el estilo DIC y la capacidad para resolver tareas piagetianas se tratará detalladamente en el Apartado 5.4 de este capítulo.

El **operador F** puede ser considerado como "*el operador metaconstructivo que efectúa la resolución de una respuesta o el cierre de una actuación en cualquier situación metasubjetiva inducida externa o internamente*" (Pascual-Leone, 1978 p 226).

De acuerdo con esta definición, este operador va a estar relacionado con la importancia decisiva que pueden tener en determinados momentos los aspectos figurativos de un problema, y es aquí donde aparece la relación con el estilo cognitivo dependencia-independencia de campo ya que, como opina M.Carretero:

"los sujetos dependientes de campo resolverán peor las tareas que presenten aspectos figurativos engañosos que pueden producir que

el operador F intervenga en el funcionamiento cognitivo del sujeto, produciendo un deficiente procesamiento de la información de tal manera , que no se llegue a utilizar toda la capacidad del espacio mental M" (M. Carretero en Marchesi et al. 1989 p 220).

En definitiva Pascual-Leone mantiene que **los independientes de campo son unos procesadores más eficientes de la información que los dependientes en el sentido no de capacidad, sino de la variabilidad en la utilización de estrategias para el citado procesamiento existiendo esta diferencia siempre que los problemas a resolver tengan elementos perceptivamente engañosos que requieran un tratamiento analítico más que global.** La aportación de Pascual-Leone a la teoría del estilo cognitivo DIC ha abierto un campo de posibilidades en lo que se refiere a las implicaciones de este constructo en el terreno del aprendizaje escolar, concretamente en el campo de la resolución de problemas donde hemos desarrollado la tesis doctoral cuya memoria presentamos. En el Apartado 5.2.5 comentaremos algunas investigaciones realizadas con el fin de profundizar en estas implicaciones.

5.2.4. EL ESTILO COGNITIVO DIC Y LOS ESQUEMAS CONCEPTUALES ALTERNATIVOS.

En el Apartado 2.3. correspondiente al **Capítulo 2** presentamos una amplia descripción de las diferentes corrientes existentes sobre la naturaleza y las características de las ideas espontáneas que presentan los estudiantes dentro del campo de las Ciencias. Vamos a recordar aquí algunas de las aportaciones que

reseñamos, procedentes del equipo investigador ubicado en la Universidad de Leeds:

-Los esquemas conceptuales de los alumnos no son simples construcciones "ad-hoc" sino que son **constructos personales** que han sido elaborados por el sujeto al ir interiorizando las experiencias que vive con el fin de que estas le resulten coherentes.

-Las ideas de los sujetos suelen estar dominadas por **la percepción** y en este sentido se fijan más en las propiedades observables de los objetos que en las interacciones entre ellos.

-Utilizan un **razonamiento causal**; los estudiantes se fijan más en situaciones cambiantes que en estados de equilibrio los cuales, para ellos, no necesitan explicación o causa.

A la vista de estas características parece razonable opinar que las diferencias que presentan los sujetos dependientes de campo frente a los independientes en el funcionamiento perceptivo, podrían tener repercusión en el origen de las ideas alternativas. Como ya hemos apuntado en el Apartado 5.2.1, Witkin y sus colaboradores han hecho hincapié en la posible relación entre el constructo DIC y los aspectos perceptivos de los individuos. Algunas conclusiones presentadas al respecto son:

"Relación entre la aptitud de desenmascarar en la percepción y la aptitud de desenmascarar en el funcionamiento intelectual. Los sujetos dependientes de campo muestran mayor dificultad para resolver problemas en que la solución depende de

que se tome un elemento crítico para esta solución fuera del contexto que se le presenta y que se reestructure el material problema de tal forma que este elemento se use en un contexto diferente. Una evidencia de ese tipo sugería que la mayor o menor aptitud desenmascaradora o analítica se manifiesta a través del funcionamiento perceptivo o intelectual del individuo,

Relación entre la aptitud de desenmascarar y la aptitud de estructurar. Las personas independientes de campo tienen una mayor capacidad para imponer una estructura a un campo que carece de organización inherente y clara." Más adelante afirman: "la persona que experimenta de una forma articulada puede vivenciar los elementos como separados con respecto a sus entornos, cuando el campo está organizado y puede imponer una estructura a un campo estimular cuando éste tiene poca estructura inherente; de esta manera considera que el campo esta articulado " (Witkin y Goodenough 1985, pp 40 -41)

Como consecuencia de estas aportaciones podemos decir que **el problema de la percepción en todas sus facetas está ligado al estilo cognitivo DIC y como consecuencia este constructo puede tener algo que decir sobre la existencia de ideas alternativas.**

Otro tema íntimamente ligado con los esquemas alternativos es la capacidad de los individuos para que estos esquemas se reestructuren y se produzca en consecuencia algún tipo de **cambio conceptual**. Como ya hemos indicado en el Apartado 2.4, existen múltiples enfoques de cómo y en qué condiciones se puede producir dicho cambio pero en términos generales, este hecho va unido siempre a un proceso de **reestructuración cognitiva** y en este

sentido, puede estar influido en alguna medida por el estilo cognitivo DIC ya que, como hemos apuntado en el apartado anterior, este constructo está fuertemente ligado a la competencia de los individuos para reestructurar un campo en variedad de situaciones. El hecho de que la falta de esta competencia se manifieste en que los sujetos dependientes de campo tengan problemas a la hora de abandonar sus ideas sobre un determinado fenómeno, va a ser estudiado en el trabajo de investigación que presentamos donde se han explorado las posibles relaciones entre el DIC y la capacidad de los estudiantes de experimentar cambios conceptuales significativos en el campo de las Ciencias.

En la línea que hemos apuntado, existen algunos trabajos que han permitido relacionar el constructo DIC con las ideas espontáneas de los estudiantes y su posible modificación en campos concretos de la enseñanza de las ciencias.

A. Corral en 1982, se planteó investigar la influencia del estilo cognitivo que estamos estudiando en la resolución de dos tareas piagetianas en que estaba implicado el esquema de control de variables. La muestra estaba constituida por 20 alumnos de 1º de BUP (media 14 años), la mitad hombres y la mitad mujeres, estando también repartidos al cincuenta por ciento en lo que se refiere al estilo cognitivo DIC, (este parámetro se midió mediante el Test de Figuras Enmascaradas en su versión grupal GEFT).

La fase experimental para ambas tareas comenzaba por presentar los dispositivos reales con que se iba a trabajar: 1º) una rampa en forma de uve con diferentes bolas que iban a chocar y 2º) dos péndulos distintos tanto en longitud como en el material de la bolita que cuelga. Los alumnos eran invitados a manifestar sus ideas previas sobre cuáles eran los factores que influían en el

hecho de que la bola objetivo ascendiera más o menos después del choque y sobre cuáles eran las variables influyentes en el funcionamiento del péndulo.

A continuación un grupo de estudiantes pasaba a realizar las experiencias correspondientes manipulando los aparatos, y otro grupo a trabajar a partir de datos experimentales presentados de forma gráfica. Los resultados se obtuvieron mediante entrevistas clínicas realizadas a todos los individuos y del análisis de las mismas, el autor llega a las siguientes conclusiones en lo que hace referencia al tema que estamos tratando:

1ª tarea: Inicialmente sólo se encontraron diferencias significativas entre los sujetos DC y los IC, a favor de estos últimos, en cuanto a la idea de que la longitud de la rampa era un factor influyente. Esta diferencia se hizo más patente después de realizada la experiencia: los sujetos DC tienen mayor dificultad que los IC para modificar sus ideas espontáneas. Para terminar, A. Corral, a la vista del problema que tienen los estudiantes a la hora de aislar la influencia de las masas de las bolas, opina que, los sujetos DC son más vulnerables que los IC ante contenidos de dificultad específica.

2ª tarea: Como consecuencia del análisis del trabajo con los péndulos, el autor concluye que los IC tienen mayor capacidad para abandonar las concepciones que se muestran erróneas mientras que a los dependientes de campo el hecho de tener que cambiar algunas de sus ideas les supone un conflicto cognitivo y emocional superior, debido a la dificultad que tienen para reorganizar sus estructuras.

Del trabajo de A. Corral podemos concluir que el constructo DIC correlaciona fuertemente con la respuesta de los sujetos al problema del control

de variables y en menor medida con las ideas alternativas que poseen éstos sobre fenómenos concretos.

Otra aportación relevante, centrada en la **Mecánica**, es la realizada por J.I. Pozo (1987), en la investigación comentada en el **Capítulo 3**, sobre las ideas de los alumnos en ese campo. El autor se propone estudiar la posible influencia del estilo cognitivo DIC sobre la organización conceptual de los individuos dentro del área mencionada donde el conocimiento, en opinión de Pozo, tiene un componente perceptivo importante. En este trabajo Pozo exploró los esquemas alternativos de una muestra transversal de estudiantes sobre cinco ideas: inercia, caída de proyectiles, gravedad, velocidad/aceleración y caída de una bola por un plano inclinado. Cuando estudió la correlación entre el constructo DIC y las citadas ideas los resultados fueron: el DIC correlacionaba significativa y positivamente con tres de los conceptos: caída de proyectiles, velocidad/aceleración y caída de la bola. No correlacionaba con el concepto de inercia y la correlación era negativa pero no significativa con la idea de gravedad.

A la vista de los resultados el autor concluye que, en general, los alumnos independientes de campo poseen unas ideas más evolucionadas en el área de Mecánica y que, las ideas que más interaccionan con la variable DIC, son aquellos en que es necesario separar o combinar varios conceptos o variables de la situación no apareciendo relación cuando los conceptos medidos sólo implican una noción no diferenciada.

Considera asimismo J.I.Pozo, a la vista de las diferentes aportaciones de las investigaciones realizadas, la necesidad de profundizar sobre las implicaciones

de los estilos cognitivos en las concepciones alternativas que presentan los estudiantes en el campo de las Ciencias.

Un trabajo interesante nos llega desde otras latitudes. Chandran et al. (1987), en una investigación realizada con una muestra de unos 300 estudiantes australianos de edad media 15,5 años, se plantearon determinar las correlaciones existentes entre un conjunto de variables cognitivas predictivas (razonamiento formal, dependencia-independencia de campo, capacidad de memoria y conocimientos previos) y un conjunto de variables de rendimiento en el campo de la Química (laboratorio, cálculos y contenidos químicos). Vamos a comentar en este apartado lo relativo a conocimientos previos en relación con el constructo DIC.

Los citados conocimientos se exploraron con un test de 20 items de elección múltiple seleccionados por los profesores de Química que participaron en la experiencia, a partir de un conjunto más amplio sacado del Science Item Bank, siendo la dependencia-independencia de campo determinada por el Test de Figuras Enmascaradas. Realizados los correspondientes cálculos estadísticos no se encontró correlación significativa entre las dos variables estudiadas lo que sorprende altamente a los autores del trabajo teniendo en cuenta que en su investigación, el conocimiento previo correlaciona significativamente con todas la variables de rendimiento.

Los resultados aportados por Chandran et al. nos indican, en la misma línea apuntada por J.I. Pozo, que **las relaciones entre la dimensión DIC y las ideas de los estudiantes en campos específicos del conocimiento, es un asunto necesitado de más investigaciones con el fin de llegar a algunas concordancias suficientemente relevantes.**

5.2.5. EL ESTILO COGNITIVO DIC Y LA RESOLUCION DE PROBLEMAS

En términos generales, numerosos autores han planteado la posible relación entre el estilo cognitivo dependencia-independencia de campo y la tarea denominada genéricamente **resolución de problemas**.

R. Fernández Ballesteros (1980), en su interesante recopilación sobre el estilo cognitivo DIC, cita diferentes trabajos donde se pone de manifiesto que los sujetos IC se diferencian de los DC no en el número de ensayos requeridos para resolver un problema sino en el "como" lo hacían, es decir, en el tipo de estrategias utilizadas en la resolución. Concluye la autora que el DIC, medido preferentemente por el test GEFT, está saturado de un factor intelectual que explicaría estas relaciones. En cuanto al material de trabajo, García Ramos (1989), comenta que cuando éste carece de una estructura claramente perceptible, los alumnos IC tienden a aprender con mayor facilidad que los DC; tales diferencias dejan de ser significativas cuando el material está altamente organizado. Como se deduce fácilmente estos hechos tienen gran relevancia a la hora de resolver problemas sobre todo si éstos son de carácter abierto. A. Corral, en el trabajo reseñado en el apartado anterior llegó a la conclusión de que los estudiantes dependientes de campo tienen mayor dificultad que los independientes a la hora de abandonar una determinada estrategia cuando ésta se muestra inoperante.

En nuestro país hay ya trabajos significativos en el campo de la Física y de la Química donde se ha introducido la variable DIC como factor influyente en la resolución de problemas.

F.López Rupérez (1991) ha investigado como resuelven problemas de Física dos grupos diferentes de estudiantes madrileños de COU en cuanto que unos fueron entrenados para mejorar la organización del conocimiento declarativo mediante la elaboración de mapas conceptuales y otros no. La hipótesis de partida fue que el efecto del tratamiento iba a ser más intenso en los sujetos dependientes de campo y que la variable DIC correlacionaría significativamente con la efectividad en la resolución de problemas en general y con el tipo de problema realizado en particular. Para determinar la variable DIC se empleó el test GEFT de Witkin y col. ya citado.

A lo largo de la investigación, los estudiantes resolvieron seis problemas clasificados en dos categorías: problema estándar cuando el procedimiento de resolución estaba o podía estar disponible en la memoria del alumno y problema general, cuando a pesar de suponer el manejo de conceptos conocidos, la resolución implicaba la utilización de un procedimiento nuevo, es decir, no utilizado previamente. Del análisis de los resultados recogemos las palabras del autor en lo referente al DIC:

"1. La DIC correlaciona significativamente con la efectividad en la resolución de problemas de Física aunque en diferente grado, siendo mayor tal conexión en los llamados problemas generales frente a los estándar.

2. La DIC correlaciona, particularmente, con la efectividad en la resolución de aquellos problemas de Física que requieren el manejo, ya sea gráfico ya sea analítico, de una representación esquemática de la situación planteada en el enunciado. En este grupo se encuentran un buen número de problemas de Mecánica

y, en general, aquellos otros que implican una representación vectorial.

3. La construcción de los mapas conceptuales empleados no influye significativamente sobre la efectividad en la resolución de problemas de Física de carácter cuantitativo." (López Rupérez, 1991 p 130)

Una investigación parecida se ha realizado en el campo de la Química. Palacios y López Rupérez (1992) con una muestra similar a la anterior han estudiado la influencia del DIC en la efectividad de la resolución de problemas de Química clasificados también en **estándar** y **generales**. Las conclusiones obtenidas fueron idénticas a las anteriores: la variable DIC correlaciona con la efectividad siendo mayor para los problemas generales que para los otros. De nuevo el efecto del tratamiento es irrelevante. De este artículo queremos señalar el siguiente párrafo por la relación que tiene con el trabajo que vamos a desarrollar:

"los problemas generales, por su propia naturaleza, son más abiertos y en ellos las tareas de reestructuración/transformación de la información disponible en la memoria del estudiante y, sobre todo, la selección de estrategias efectivas de resolución desempeñan un papel decisivo, estando unas y otras habilidades cognitivas claramente relacionadas con el constructo DIC". (Palacios et al. 1992 p 305)

Fall et al. (1985) (citado por López Rupérez, 1991) trabajando con una muestra de 77 alumnos de enseñanza secundaria, encontraron que los

independientes de campo eran más efectivos en la resolución de problemas de Química cuando estos implicaban razonamiento proporcional (problemas de conversión molar y problemas de estequiometría), estando también más capacitados para distinguir entre la información relevante y no relevante y para utilizar en la resolución del problema información no presente de forma explícita en el enunciado.

Otros autores que también han encontrado resultados positivos han sido Ronning et al. (1984), tomando como punto de partida que una teoría razonable sobre resolución de problemas tiene que tener en cuenta tres dimensiones: 1) dominio de conocimiento 2) métodos de resolución de problemas y 3) características individuales de los resolventes.

Comentan los autores que los dos primeros son ampliamente aceptados por los investigadores estando en discusión las características de los individuos que serían las relevantes para la resolución de problemas. En el trabajo que nos ocupa, Ronning et al. han escogido, entre otras, el estilo cognitivo dependencia-independencia de campo como variable representativa de las diferencias individuales y en este sentido, han pasado el test GEFT de Witkin a una muestra de 150 estudiantes tomando como parámetro los extremos de la puntuación obtenida.

Los problemas seleccionados en esta investigación, abarcan una serie de situaciones diversas tales como: radiactividad, diferencias de temperatura en el agua de un lago, oscilación del péndulo La técnica utilizada para la recogida de datos fue la grabación en audio de una serie de entrevistas en que los estudiantes pensaban en alto - thinking aloud - al tiempo que resolvían las tareas. Los resultados obtenidos, en cuanto al DIC se refiere, muestran una moderada

superioridad en la capacidad de resolución por parte de los IC frente a los DC y cuando se controla la variable DIC, los hombres aparecen como mejor resolventes que las mujeres. En general, los autores son de la opinión de que el constructo dependencia-independencia de campo es una variable muy interesante para la evaluación de tratamientos que tengan claramente definidos sus objetivos de instrucción y ello, no únicamente por los datos cuantitativos obtenidos en su estudio sino también por las evidencias cualitativas que han observado: los estudiantes independientes de campo expresan confianza en sus conocimientos y perspectivas positivas frente a las tareas que se les presentan.

Resultados contradictorios con los anteriores son los presentados en el trabajo de Chandran et al. (1987), que citábamos en el apartado anterior, donde se utilizó el constructo DIC como variable predictiva para analizar la eficacia de resolución en una serie de tareas de Química. En los resultados no se encontró relación significativa entre ambos.

En la misma línea discrepante, encontramos a R. Garret, cuyas aportaciones a la didáctica de la resolución de problemas ya comentamos en el **Capítulo 1**. Este autor ha realizado diferentes estudios sobre la influencia del estilo cognitivo DIC en la resolución de problemas, especialmente dentro del campo de la Física. El primer trabajo que conocemos es su tesis doctoral (1984) y cuyo título: *Selected Cognitive Styles and Aspects of their Relationship to Problem Solving: An Empirical Study using Problems in Physics* es suficientemente explicativo. Posteriormente ha ido aportando nuevos datos al respecto (Garret 1986, 1989). En términos generales diremos que este autor no encuentra una relación muy clara entre las dos variables mencionadas opinando que existe, de partida, un problema metodológico serio: a diferencia de otros trabajos, la mayoría de los estudiantes utilizados como muestra en las

investigaciones científicas suelen estar decantados, dentro del continuo dependiente → independiente de campo, hacia el extremo superior. Este hecho reduce el rango de variación efectiva de la variable DIC y por lo tanto introduce importantes limitaciones en estudios de tipo correlacional como los que usualmente se realizan.

Para terminar con esta lista de trabajos, vamos a referirnos a la anteriormente citada teoría neopiagetiana de Pascual-Leone, en cuyo marco se ha realizado una aportación muy interesante al campo de investigación que estamos comentando. Como ha quedado indicado al final del Apartado 5.2.3. los autores de esta escuela han tratado de relacionar, ante un problema dado, **la DIC con la capacidad de seleccionar por parte de los individuos la estrategia más apropiada de entre las disponibles, utilizándose en consecuencia el constructo DIC como una variable predictiva de la eficacia en la resolución de problemas.**

Dentro del campo de las Ciencias destacan los trabajos realizados por M. Niaz, autor que ha utilizado en sus investigaciones los operadores constructivos definidos por Pascual-Leone. Vamos a comentar por su relevancia en el campo que nos ocupa, el realizado con una muestra formada por 55 estudiantes de la Universidad de Oriente, Venezuela, cuya edad media eran 18,7 años siendo el constructo DIC determinado por el test GEFT, (1989 b). Los problemas utilizados abarcaron un amplio espectro de cuestiones clave en la enseñanza de la Química: leyes fundamentales, estequiometría, disoluciones, gases, estructura atómica y sistema periódico, ajuste de ecuaciones y pilas. El análisis de regresión múltiple realizado pone de manifiesto que la aportación del constructo DIC al porcentaje de varianza explicada es muy significativo comparado con otras variables predictivas (nivel de desarrollo formal y nivel general de inteligencia). Comenta

el autor que estos resultados apoyan la hipótesis de Pascual-Leone ,anteriormente mencionada, según la cual los estudiantes **IC** son mejores resolventes que los **DC** ya que tienen una mayor capacidad para seleccionar, ante un problema dado, la estrategia más apropiada entre las disponibles.

Como síntesis de todo lo aportado podemos decir que los resultados obtenidos no son excesivamente concluyentes. López Rupérez (1991), presenta como una posible causa la falta de homogeneidad -en cuanto a estructura y tipo de exigencia cognitiva- característica de los problemas semánticamente ricos como los utilizados en la mayoría de las investigaciones comentadas. Apunta como solución aislar dentro de las tareas que realizan los alumnos, **componentes** o **esquemas de razonamiento** distintos, analizando por separado las posibles relaciones existentes. Este procedimiento, está apoyado en los resultados de las investigaciones sobre tareas piagetianas que vamos a comentar a continuación, las cuales ponen claramente de manifiesto **la existencia de interacciones entre el estilo cognitivo DIC y la naturaleza de las tareas a resolver**. La investigación que presentamos en esta tesis doctoral ha utilizado esta estrategia de trabajo a la hora de analizar la resolución de problemas efectuada por los estudiantes.

5.3 DIFERENCIAS INDIVIDUALES DEBIDAS AL NIVEL DE DESARROLLO DEL PENSAMIENTO FORMAL.

5.3.1. EL PENSAMIENTO FORMAL EN EL MARCO DE LA TEORIA DE J. PIAGET. PERSPECTIVAS NEOPIAGETIANAS.

No es nuestra intención hacer aquí ni siquiera una somera síntesis de la obra de Jean Piaget y su influencia en la enseñanza-aprendizaje de las Ciencias, solamente daremos unas pinceladas de los puntos más importantes de sus teorías relacionadas con el trabajo que nos ocupa: la existencia, y posible evolución, de ideas espontáneas en los alumnos sobre conceptos científicos, las estrategias que utilizan los estudiantes en la resolución de problemas y la posible relación de todo ello con los estilos cognitivos y más concretamente con la dependencia-independencia de campo como factor determinante de las diferencias individuales.

Tomaremos como punto de partida el hecho de que para el aprendizaje de las Ciencias que se imparten en nuestras aulas, a partir de la adolescencia, hace falta un determinado nivel de **pensamiento formal** en términos de Piaget o dicho de otra forma, las características esenciales del pensamiento formal pueden considerarse como una descripción de los requisitos psicológicos del pensamiento científico. El "**sujeto formal**" quedaría caracterizado fundamentalmente por ser capaz de considerar lo "*real* " como una parte de lo "*posible* " es decir, utilizando la aportación de J.H.Flavell:

"el adolescente, al comenzar la consideración de un problema, trata de prever todas las relaciones que podrían tener validez respecto de los datos, y luego intenta determinar mediante una combinación de la experimentación y el análisis lógico, cual de estas relaciones posibles tiene validez real . De este modo, la realidad es concebida como un subconjunto especial de la totalidad de las cosas que los datos admitirían como hipótesis" (Flavell, 1976 p 224, traducción castellana).

El pensamiento formal, en la línea apuntada en la cita de Flavell, vendría caracterizado por tener fundamentalmente un carácter **hipotético-deductivo**, entendiendo que los sujetos en esta etapa, no sólo son capaces de formular hipótesis sino que también las pueden contrastar mediante mecanismos de **control de variables**.

Como conclusión, podemos decir que, el "individuo formal" indaga en la realidad utilizando en primer lugar las operaciones concretas para construir proposiciones, (manejo de pensamiento proposicional) que posteriormente va a poder combinar de todas las formas posibles permitiéndole el estudio de lo real como un subconjunto de lo posible.

Jean Piaget postuló inicialmente que la mayoría de los adolescentes, hacia los quince años han consolidado el pensamiento formal pero un cúmulo de investigaciones realizadas al respecto contradicen esta opinión. Así por ejemplo, Chiappetta (1976) comprobó que el 85 % de los adolescentes norteamericanos no dominan las operaciones formales e incluso se ha llegado a afirmar que algunas personas no alcanzan el pensamiento formal a lo largo de su vida (Lawson, 1985).

En España se han realizado también estudios para determinar el nivel de desarrollo cognitivo de nuestros alumnos. Aguirre de Cárcer (1985), trabajando con una muestra de 196 alumnos de **2º BUP**, encontró que solo un 30% utilizaba un pensamiento formal consolidado y en una muestra de estudiantes del **primer curso universitario**, todavía se encuentran porcentajes de alumnos que no dominan totalmente el pensamiento formal. El instrumento empleado por este autor fue el Test de Longeot, una prueba de lápiz y papel que describiremos con detalle en el **Capítulo 6** ya que ha sido utilizado en nuestra investigación para determinar el nivel de desarrollo del pensamiento formal que presentaba la muestra experimental.

En la actualidad la mayoría de las investigaciones consideran la teoría piagetiana de las operaciones formales como una teoría "ideal" del comportamiento intelectual pero que no puede explicar satisfactoriamente la actuación "real" del individuo. En este marco han surgido las llamadas, genéricamente, **teorías neopiagetianas** que cuestionan la universalidad del pensamiento formal. Así M. Carretero (1986) plantea la siguiente pregunta "*¿Las características del razonamiento formal representan unas adquisiciones necesarias e inevitables para constituir la inteligencia adulta o sólo serían un conjunto de habilidades especializadas que varían según las diferencias individuales?*" (p 67, 68).

La contestación a esta pregunta introduce automáticamente la necesidad de distinguir entre **competencia** y **actuación**: los sujetos pueden mostrar **competencia formal** en la resolución de algunas tareas, pero esto no implicaría tener **actuación formal** ante cualquier tipo de contenido, sino que el manejo o no de pensamiento formal está mediatizado, tanto por variables de la tarea como por variables del sujeto que la resuelve; en este sentido la aportación de Piaget

que estamos comentando constituiría una teoría de **competencia cognitiva** de los sujetos humanos pero no explica los procesos implicados en la **actuación**.

En numerosas investigaciones se ha comprobado actualmente que las tareas cuya resolución implica la utilización de un mismo tipo de estructura lógica ofrecen diferente nivel de dificultad si varía el contenido específico del problema y en consecuencia nuestros alumnos tienen posibilidad de mostrar un razonamiento formal si el contenido del problema les resulta familiar.

Las perspectivas neopiagetianas, muy influidas por las teorías del procesamiento de la información, han querido profundizar en la actividad interna del sujeto cuando está realizando una tarea determinada y en este sentido una característica fundamental de estos enfoques es la del **análisis de las tareas**, es decir, la formulación de un modelo hipotético que representa la actuación del sujeto para resolver un determinado problema, asumiendo que así sería la actuación de un sujeto ideal.

Una de las aportaciones más fructíferas dentro de este campo es la **Teoría de los Operadores Constructivos** de Pascual-Leone, ya comentada en el Apartado 5.2.3. en relación con el estilo cognitivo dependencia-independencia de campo. Este autor intenta predecir el efecto que puede tener el contenido de una tarea sobre su dificultad haciendo entrar en juego, como ya vimos, además de la estructura lógica de la misma, la memoria a corto plazo que exige cada problema admitiendo que la cantidad de memoria que hay que poner en juego, es función de las características del individuo y del contenido concreto del problema.

Como síntesis de estas aportaciones podemos afirmar que **la actuación de los sujetos se ve mediatizada por su estilo cognitivo (insertado en la teoría de**

Pascual-Leone), la demanda específica de cada tarea y el contenido de la misma. Por lo tanto, el nivel de desarrollo formal de los individuos hay que considerarlo enmarcado en esta nueva perspectiva.

5.3.2. PENSAMIENTO FORMAL Y SU RELACION CON LOS ESQUEMAS CONCEPTUALES DE LOS ESTUDIANTES.

Existen algunos trabajos dentro del campo de la Física y de la Química para intentar relacionar el nivel de razonamiento formal de los estudiantes y sus ideas espontáneas en estos campos. El número no es muy elevado y los resultados tampoco son concluyentes por lo que el problema está abierto a futuras aportaciones.

Una investigación interesante es el ya citada en el Apartado 5.3.4. de Chandran et al. donde una de las variables predictivas utilizada fue el nivel de razonamiento formal de los estudiantes. La prueba empleada para la determinación de este nivel fue el TOLT (Test of Logical Thinking) desarrollado por Tobin et al. (1981) consistente en 10 items que recogen los siguientes aspectos: razonamiento proporcional, control de variables, razonamiento probabilístico y combinatoria. El cálculo de correlaciones realizado muestra una relación significativa entre los resultados obtenidos en el TOLT y los conocimientos previos en Química de los estudiantes, estando éstos determinados a partir de una prueba de 20 items de elección múltiple. Además el nivel de razonamiento correlacionó con las otras variables predictivas (DIC y Capacidad de Memoria) y con todas las variables de rendimiento.

En el campo de la Física, y en nuestro país, Acevedo et al.(1989), han hecho una investigación encaminada a relacionar las concepciones de los estudiantes con el nivel que poseen en tareas de razonamiento proporcional. La muestra estaba constituida por 65 estudiantes de 2º BUP con una edad media de 16,0 años que se repartían en los diferentes estadios de acuerdo con la siguiente distribución: 15,4% nivel II A, 43,1% nivel II B, 18,5% nivel III A y 23,1% nivel III B.

La comprensión de los conceptos de dinámica newtoniana elemental se midió con unas pruebas de formato abierto diseñadas por los autores haciendo hincapié en el concepto de fuerza ligado a cuerpos en movimiento (balones, monedas, péndulo, honda). Estas pruebas fueron pasadas antes y después de un tratamiento de corta duración y de los resultados obtenidos los profesores concluyen lo siguiente:

- a) Las respuestas erróneas, desde el punto de vista del esquema conceptual newtoniano son frecuentes antes y después del tratamiento (83% antes y 72% después) pero menores en los adolescentes formales que en los concretos, no existiendo diferencias significativas en el pretest.
- b) Existen diferencias significativas, a favor de los formales, en los resultados obtenidos en la prueba posterior a la instrucción.
- c) Después del período de aprendizaje, la evolución de los sujetos formales, aunque no resulta espectacular, es significativamente positiva, correspondiendo los mejores resultados a los que tienen más consolidada su competencia formal.

En resumen, la competencia formal, al menos en el razonamiento proporcional, resulta una condición necesaria para adquirir esquemas conceptuales como el newtoniano pero no parece ser suficiente dado que no se ha conseguido un éxito relevante. En nuestra opinión este trabajo es importante pues pone de manifiesto **la mayor capacidad de los alumnos formales para poder experimentar un determinado cambio conceptual** a partir de sus ideas previas.

5.3.3.PENSAMIENTO FORMAL Y RESOLUCION DE PROBLEMAS

La razón por la que nos hemos planteado encontrar la posible relación que se indica en el título, se podría encontrar en la idea de J. Piaget reseñada por Flavell:

"El pensamiento formal no es para Piaget tanto una u otra conducta específica como una orientación generalizada a veces explícita, a veces implícita, para la resolución de problemas: una orientación hacia la organización de los datos, hacia el aislamiento y el control de variables, hacia lo hipotético y hacia la justificación y las pruebas lógicas" (Flavell, 1976 p 231, traducción castellana).

Se han realizado, en nuestra opinión, un número limitado de trabajos tratando de relacionar el nivel de desarrollo formal de los estudiantes con su capacidad para resolver problemas en el terreno concreto de la Física y la Química. A continuación vamos a comentar algunos de ellos.

Atwater y Alick, 1990, han estudiado la relación entre el nivel de desarrollo cognitivo de una muestra de 30 estudiantes afroamericanos de nivel universitario, y las estrategias utilizadas cuando resolvían problemas de Química y más concretamente de estequiometría. El desarrollo cognitivo se determinó utilizando el **PLOT** (Test de Operaciones Lógicas Piagetianas) prueba formada por cuatro subtests que versan sobre: conservación de volumen de líquidos en desplazamientos, separación y control de variables, análisis combinatorio y pensamiento proporcional. Atendiendo a los puntajes globales obtenidos los estudiantes eran clasificados en concretos, transición y formales.

La prueba específica de Química constaba de cuatro ejercicios, dos conceptuales (relación masa-masa, masa-mol, mol-mol y mol-volumen) y dos de ecuaciones químicas para ajustar. Las estrategias utilizadas por los estudiantes se determinaron según un protocolo basado en los heurísticos de Polya para resolver problemas de Matemáticas (descritos en el Apartado 1.3.2.). En los resultados se constató que el 30% de la muestra se puede considerar en la etapa de las operaciones formales, no encontrándose correlaciones significativas entre los porcentajes obtenidos en el **PLOT** y las estrategias estequiométricas. Sin embargo, se observó que los estudiantes que están en etapa de pensamiento formal tienen más éxito que sus compañeros cuando resuelven problemas complejos de relaciones mol-mol y volumen-mol.

En un trabajo similar a este, Niaz y Lawson (1985) emplearon también como variable predictiva para el ajuste de reacciones químicas, el nivel de razonamiento formal medido con el "Lawson Classroom Test of Formal Reasoning", formado por 15 ítems -de contenido similar al TOLT- siendo cada ítem contestado a partir de la observación de algún tipo de material. La muestra, insuficiente a juicio de los autores, estaba formada por 25 estudiantes con una

edad media de 20,8 años. Las conclusiones obtenidas fueron: a) el ajuste de reacciones químicas requiere razonamiento hipotético-deductivo, b) se requiere pensamiento formal para resolver un ajuste sencillo de las ecuaciones químicas por tanteo pero si el ajuste se complica, su solución es a veces un obstáculo insuperable.

En nuestro país tenemos también algunas aportaciones interesantes. Palacios et al. (1989) han analizado la influencia del desarrollo cognitivo sobre la adquisición de seis habilidades científicas básicas medidas con la versión española del **TIPS: Test of the Integrated Science Process Skills**, (Dillashaw y Okey, 1980, citado por Palacios et al. 1989). La investigación se realizó con una muestra escogida al azar de 189 alumnos de 2º de Bachillerato (edad aproximada 15 años) cuyo nivel de desarrollo cognitivo fue determinado utilizando el Test de Longeot mencionado anteriormente. Las destrezas seleccionadas, en número de seis, coinciden mayoritariamente con las que necesita un estudiante para resolver problemas, sobre todo si se le presentan con un enunciado abierto tal como los abordados en la investigación que nos ocupa. Los resultados y discusión obtenida por estos autores se describe a continuación haciendo hincapié en la demanda cognitiva requerida para cada una de las destrezas analizadas.

●**MC1: reconocimiento de variables.** Solamente el 24 % de los alumnos formales y el 16 % del total tienen adquirida la destreza **MC1** por lo que se deduce una considerable exigencia intelectual para el dominio de la misma. La discriminación por niveles cognitivos es poco clara. Los resultados obtenidos en esta tarea son achacados por los autores a desconocimiento por parte de los alumnos de la terminología empleada.

● **MC2: identificación de hipótesis.** Para la MC2 el nivel de desarrollo discrimina fuertemente. Esta destreza es controlada por el 59% de los formales, el 35% de transición y el 19% de los concretos por lo que se puede considerar una relación significativa entre el nivel de pensamiento formal y la capacidad de los sujetos para la identificación de hipótesis.

● **MC3: identificación de definiciones operacionales de variables implícitas o explícitas en la descripción de una investigación.** La MC31 (variable implícita), también presenta un nivel de discriminación considerable (46% - 40% - 12% respectivamente) con un porcentaje de solo un 39% de alumnos que tienen adquirida esa habilidad. Resultados totalmente opuestos aparecen para MC32 (variable explícita) donde no aparece prácticamente discriminación y es acertada por el 93% de los estudiantes. Los autores achacan esta diferencia a un posible efecto del estilo cognitivo DIC más que al nivel de desarrollo ya que, en las tareas que envuelven a MC31, parte de la información relevante está enmascarada frente a MC32 donde no ocurre este hecho.

● **MC4: reconocimiento de diseños experimentales.** está adquirida globalmente por el 75% de los alumnos de la muestra analizada con una discriminación por niveles significativa (31% de concretos frente a 86% de los formales).

● **MC5 y MC6: reconocimiento e interpretación de gráficos.** La variable MC5 es adquirida prácticamente igual para alumnos de cualquier nivel de desarrollo sin embargo, en la adquisición de la variable MC6 hay una influencia clara del nivel de desarrollo de los sujetos (50% - 92% - 100%) destacando que el 100% de los alumnos formales llegan a contestar correctamente esta cuestión.

Para completar el estudio se ha calculado la posible correlación entre el nivel de desarrollo cognitivo y cada una de las habilidades descritas así como de su conjunto, encontrándose que **la puntuación obtenida en el Test de Longeot, valorada como una medida global del razonamiento formal de un sujeto, correlaciona altamente con las habilidades científicas estudiadas, cuando se las considera globalmente.** Los resultados destreza a destreza coinciden con los anteriormente comentados encontrándose de nuevo la influencia del contexto sobre la actuación del sujeto.

Existen otros trabajos relacionados con la resolución de problemas pero por estar enmarcados en las teorías de Pascual-Leone y conectados por tanto con el constructo DIC, los comentaremos en el apartado siguiente.

5.4. PENSAMIENTO FORMAL Y SU RELACION CON EL ESTILO COGNITIVO DEPENDENCIA-INDEPENDENCIA DE CAMPO

En términos generales las conclusiones de diferentes investigaciones ponen de manifiesto que el pensamiento formal resulta influido por el tipo de estilo cognitivo que poseen los sujetos y en este marco se puede afirmar que los independientes de campo resuelven mejor las tareas formales que los dependientes, (Carretero, 1980 b; Huteau, 1980). Esta afirmación hay que matizarla en varios sentidos; en primer lugar, diversas investigaciones ponen de manifiesto que no todas las tareas formales son de la misma dificultad, y en segundo, se ha observado también que no todas requieren el mismo estilo cognitivo para su correcta realización. La naturaleza de la tarea se convierte de nuevo en un factor relevante tal como advierte Huteau en la revisión que ha realizado:

"Los sujetos independientes de campo, comparados con los dependientes, son más eficaces cuando se hacen necesario capacidades de estructuración-reestructuración cognitiva (representación espacial, tareas de conservación y tareas en las cuales distintos factores tienen que ser disociados). Por el contrario estas diferencias no se observan cuando las capacidades anteriormente citadas no son necesarias" (Huteau, 1980).

Mario Carretero hace una revisión muy completa de investigaciones realizadas acerca del tema que nos ocupa, ordenando las tareas piagetianas

según el grado de dificultad que presentan. Vamos a realizar una síntesis de su aportación:

1) En lo relativo a **tareas de combinación y permutaciones** y su posible relación con el DIC, no hay resultados concluyentes, entre otras razones, porque no todos los autores han utilizado los mismos procedimientos ni las mismas tareas experimentales, admitiéndose que, en todo caso, existe una leve relación entre la dimensión DIC y la resolución de este tipo de tareas. Como detalle indicamos que hay una aportación interesante de Nejmark (1975 y 1981) (ver Carretero, 1982), en el sentido de afirmar que las tareas de combinación son más fáciles ya que las considera un requisito previo para realizar tareas de permutación, correlacionando ambos con la DIC de forma positiva aunque moderada. Posteriormente concluye la autora que los estilos cognitivos de los estudiantes podrían ser una herramienta imprescindible para explicar el fracaso que se produce en la resolución de algunas tareas formales y en su opinión el DIC sería una de las variables que producen que la competencia formal que poseen casi todos los adultos no se convierta en una actuación correspondiente.

2) **Tareas de control de variables o razonamiento hipotético-deductivo.** Son numerosos los autores que han trabajado en esta línea. Destacan los estudios de Lawson y Wollman (1977), donde se encontraron correlaciones muy altas entre el esquema de control de variables y el DIC cuando investigaban con las tareas piagetianas de flexibilidad de varillas y equilibrios en la balanza. Otros autores, trabajando en la misma línea han corroborado estos resultados: Linn, 1978 y Corral 1982. Una aportación clásica es la realizada por R. Case (1974) el cual, tomando como base las teorías de Pascual-Leone, planteaba el aprendizaje del esquema control de variables a partir de la determinación de la demanda cognitiva de las tareas a realizar; los independientes de campo salieron altamente

beneficiados frente a los dependientes con el uso de este método de enseñanza de lo que el autor deduce la adecuación entre el análisis cognitivo de la tarea y las estrategias utilizadas por los sujetos IC a la hora de resolverla. Como síntesis de todas las aportaciones, M. Carretero ha constatado que,

"en tareas de control de variables los sujetos tienen que procesar la información de forma muy estructurada, distinguiendo entre los aspectos relevantes y no relevantes de la tarea mediante la experimentación sistemática de sus efectos. Este tipo de trabajo favorece a los independientes de campo" (Carretero, 1982 p 77).

3) Tareas de proporción y probabilidad. Numerosos estudios citados por Carretero ponen de manifiesto una relación clara entre la resolución de problemas de proporcionalidad y la dimensión DIC (Linn y Swiney, 1981; DeRibeaupierre y Pascual-Leone, 1979; Pulos et al. 1980, citados por Carretero, 1982). Por el contrario, cuando se ha investigado utilizando problemas de probabilidad los resultados no han sido concluyentes.

Concluye el autor su revisión afirmando que:

"en los últimos años han aumentado considerablemente las investigaciones sobre la relación entre el DIC y el desarrollo operacional según las teorías de Piaget, sobre todo a partir de la teoría neopiagetiana de Pascual-Leone. Estos estudios han mostrado la enorme influencia que puede tener el DIC sobre la actuación cognitiva de los sujetos de diferentes edades en determinadas tareas" (Carretero, 1982 p 79).

Como complemento a lo aportado vamos a señalar algunos trabajos relevantes, en nuestra opinión, dentro del campo concreto que estamos abordando.

M. Niaz, en la línea neopiagetiana de Pascual-Leone, ha realizado numerosos estudios tratando de profundizar en las relaciones del nivel de pensamiento formal y el estilo cognitivo dependencia-independencia de campo. Así Niaz (1989 a), trabajando con una muestra de 318 sujetos, estudiantes de Química en Venezuela, de edad media 18,4 años, se planteó medir la correlación entre la DIC, medida por la Prueba de Figuras Enmascaradas de Witkin, y el nivel de razonamiento proporcional medido por una prueba de papel y lápiz compuesta por nueve ítems en el campo de la Química. En la discusión de resultados, el autor concluye, **que el efecto de campo es una variable que influye significativamente en el rendimiento de los alumnos en tareas que incluyen el razonamiento proporcional**, matizando que el hecho de que los coeficientes de correlación no sean excesivamente elevados pone de manifiesto que, además de este factor cognitivo, hay otros que también están actuando.

En un trabajo posterior, Niaz (1991), trabajó con una muestra más reducida, 72 estudiantes de 18,1 años de edad media, concluyendo que el constructo DIC correlaciona de forma significativa únicamente con algunos ítems correspondientes al control de variables y el razonamiento combinatorio, sin embargo, explica un cierto grado de varianza para todos los ítems.

En nuestro país ha habido también aportaciones en la línea que estamos comentando. Así, López Rupérez et al. (1991), han planteado la misma cuestión con una muestra de 141 alumnos de bachillerato, midiéndose el nivel de razonamiento mediante el Test de Longeot ya citado y el estilo DIC con el test

GEFT. En la corrección del Test de Longeot han diferenciado los items de formato cerrado de los de formato abierto, y también los que requieren para su correcta solución razonamiento formal de los que requieren únicamente el nivel concreto.

Las conclusiones de su trabajo han sido: **Cuando se estudian las relaciones globales mediante un análisis de varianza, se ha encontrado que hay una correlación significativa entre la puntuación global en el Test de Longeot y la variable dependencia - independencia de campo considerada como variable dicotómica.** Esta correlación también existe cuando se considera el subtest correspondiente al pensamiento formal pero desaparece cuando se relaciona con el subtest correspondiente al pensamiento concreto. En un análisis de detalle se ha visto que el factor campo solo correlaciona significativamente con los items formales, incluidos en la parte de análisis combinatorio y razonamiento probabilístico, poniendo una vez más de manifiesto la dependencia con el contenido de la tarea. Estos resultados difieren de los aportados por Carretero (1982), pero coinciden parcialmente con los aportados por Huteau (1980) en el sentido de considerar que las tareas que envuelven razonamientos probabilísticos requieren una capacidad mayor de reestructuración cognitiva.

En cuanto a las consecuencias de considerar la variable item abierto - item cerrado, el análisis de los resultados indica lo siguiente: para los items de nivel concreto la variable DIC no discrimina; sin embargo, cuando trabajaron con items formales, los independientes de campo resolvían estadísticamente mejor que los dependientes, los items de formato abierto.

En opinión de los autores esto se debe a que las preguntas abiertas requieren que el sujeto reorganice la información y escoja la estrategia más

conveniente, siendo estos casos más conflictivos los que marcan las diferencias entre dependientes e independientes de campo.

Las relaciones comentadas a lo largo de este apartado coinciden con la idea que apuntamos en la introducción del capítulo, en el sentido de reconocer que la posible **influencia de los estilos cognitivos -concretamente el DIC - sobre la competencia formal de los individuos a la hora de actuar, pone de manifiesto la necesidad de construir una teoría psicológica integradora que pudiera llegar a explicar de forma global las actuaciones de los sujetos.**

PARTE II

DISEÑO DE LA INVESTIGACION

CAPITULO 6

DISEÑO Y METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION

6.1. PLANTEAMIENTO GENERAL

La investigación cuya memoria presentamos ha tenido como finalidad estudiar el proceso de entrenamiento de un grupo de estudiantes en **una metodología investigativa de resolución de problemas de enunciado abierto**, centrada en el campo de la **Física**. En lo relativo a la eficacia del entrenamiento, se ha investigado hasta que punto, este proceso va a producir en los estudiantes un **cambio conceptual**, persistente en el tiempo, acompañado de una **actitud positiva** hacia el aprendizaje de la Ciencia.

Por otra parte, estábamos interesados en profundizar sobre la interacción de las diferencias individuales, desde una perspectiva cognitiva, en la respuesta de los sujetos al entrenamiento aplicado. Este segundo aspecto del trabajo podemos enmarcarlo dentro de los llamados estudios **ATI**: aptitude-treatment interacción (interacción de las aptitudes con el tratamiento), en su versión más amplia que considera como aptitudes atributos tales como sexo, edad.... es decir, cualquier característica del sujeto que funcione selectivamente con respecto al aprendizaje efectuado sobre la base de algún método instructivo previamente diseñado (Cronbach, 1957 y Koran et al., 1984). En concreto, nosotros hemos introducido como aptitudes que pueden interaccionar con el aprendizaje científico, el estilo cognitivo dependencia-independencia de campo, el nivel de desarrollo del pensamiento formal y el sexo de los individuos.

En el curso de la investigación hemos trabajado con el modelo didáctico de resolución de problemas propuesto por el equipo de D. Gil, descrito de forma

detallada en el último apartado del **Capítulo 1**. Este modelo ha sido aplicado en un contexto escolar normalizado con una metodología de aula inspirada en el marco teórico de la **investigación-acción**.

El diseño de la investigación que estamos presentando se planteó inicialmente como un asunto complejo debido a la multiplicidad de variables consideradas como relevantes, unido a la diversidad de instrumentos utilizados en la experimentación. Vamos a abordar a continuación una panorámica general del mismo que posteriormente desarrollaremos detalladamente en los siguientes apartados.

Podemos enmarcar nuestro diseño en el grupo denominado *cuasiexperimental* en términos de Cook y Campbell (1979), ya que se ajusta a las características que estos autores consideran esenciales en este modelo tales como el empleo de escenarios naturales, estudio de grupos intactos, no seleccionados al azar y control parcial de variables. Este tipo de diseños son muy utilizados en el campo de la educación.

En cuanto al tema de la validez del diseño utilizado, nos hemos decantado por el concepto de **validez ecológica** que se interesa por la generalización de los efectos experimentales a otras condiciones es decir, la idea clave es determinar en que circunstancias podríamos esperar los mismos resultados. Este tipo de validez se cumple, en opinión de R. Bisquerra (1989 a), cuando los habitats o situaciones comparadas en un experimento son representativas de la población de situaciones a las que el investigador desea generalizar los resultados o en otras palabras, los sujetos son estudiados en su 'habitat' en el sentido ecológico del término. Los diseños que cumplen este tipo de validez, tienen la ventaja de evitar

los llamados **efectos de reactividad**, según los cuales los fenómenos observados cambian por efecto de la observación.

En cuanto a las muestras utilizadas, los sujetos constituyentes del grupo experimental, eran alumnos de **3º de BUP**, especialidad **Ciencias**, habiéndose desarrollado la experiencia en el marco de la asignatura de **Física y Química** correspondiente a dicho curso. Estos estudiantes fueron entrenados a lo largo del período escolar en la **resolución de problemas de Física de enunciado abierto planteados como actividades de investigación**. El trabajo realizado tenía como finalidad favorecer en ellos el **cambio conceptual**, a partir de cambios metodológicos y actitudinales, todo ello en el marco teórico del **constructivismo** entendido como una familia de teorías que tienen una idea común: **el que aprende construye activamente sus propios significados**.

Dentro del diseño que estamos describiendo, se ha seleccionado un **grupo control** cuyas características son similares a los sujetos del **grupo experimental** tal como veremos en el Apartado 6.3. Los sujetos de este grupo se han utilizado para establecer comparaciones mediante el procedimiento **pretest-postest** en lo relativo al cambio conceptual experimentado por los estudiantes como consecuencia del tratamiento recibido.

La metodología de trabajo utilizada dentro del aula ha estado orientada por el paradigma **investigación-acción** donde el profesor juega el doble rol **profesor/investigador**. La idea de investigación en la acción fue introducida por Kurt Lewin (1946), para describir un modo de investigación que se caracteriza por *una práctica social reflexiva, donde no se distingue entre la práctica que se investiga y el proceso de investigación de esa práctica*. En este tipo de investigación los profesores no serán consumidores pasivos de lo

investigado, sino que ellos participarán en el proceso de estudio y mejora de dicha práctica negando, en consecuencia, la idea mayoritariamente admitida de que la investigación educativa está reservada para los "expertos" académicos externos al aula (Elliott, 1986,1990, 1993).

Otros autores que han hecho una aportación muy relevante a la orientación que estamos comentando han sido Carr y Kemmis en su ya clásica obra *"Teoría crítica de la enseñanza"*, escrita en 1986 y traducida al castellano en 1988, que produjo un fuerte impacto entre los profesores inquietos por la realidad educativa. Tomando como punto de partida las ideas de Habermas, han elaborado una propuesta en la línea de potenciar una **ciencia educativa crítica** retomando el concepto de investigación-acción reseñado arriba y definiendo el profesor-investigador crítico como aquel que, en la acción, intenta descubrir que condiciones objetivas y subjetivas limitan las situaciones y como podrían cambiar unas y otras a partir de un proceso de autorreflexión crítica dirigido por una visión dialéctica de la racionalidad.

En nuestro país ha habido contribuciones muy interesantes en la línea que estamos comentando pudiéndose destacar las aportaciones de Gimeno Sacristán (1985, 1988) o las que nos han llegado de la Universidad de Sevilla de mano del grupo dirigido por R. Porlan. En opinión de este autor, el **profesor-investigador** queda descrito como:

"el profesor que investiga en el aula, sólo o con ayuda de observadores externos, para resolver los problemas concretos (investigación para la acción) y, paralelamente reflexionar, teorizar y reconstruir progresivamente el curriculum. Desde esta perspectiva, investigación en el aula, cambio curricular y formación

del profesor, son tres aspectos de un mismo proceso permanente"
(Porlan, 1987, p 64).

Antes de adentrarnos en la descripción del trabajo realizado, queremos hacer una llamada de atención sobre la posible influencia que pueda tener el hecho de que el investigador sea precisamente el profesor que imparte la asignatura y como consecuencia pueda ejercer algún tipo de "poder" sobre los estudiantes. Esta influencia existe y los investigadores que trabajan en estas circunstancias tienen que ser conscientes de ello e intentar reducirla al mínimo teniéndola, en todo caso, presente para la validación de los resultados. A este respecto queremos destacar aquí una idea interesante manifestada por L. Stenhouse:

"El problema de la objetividad me parece falso. Toda investigación realizada en aulas ha de procurar mejorar la enseñanza. Así pues, toda investigación debe ser aplicada por profesores, al igual que la investigación más clínicamente objetiva sólo puede ser aplicada, en la práctica, por un actor interesado que participe en la situación. Y no hay forma de eludir el hecho de que la percepción subjetiva es lo que es crucial para la práctica, ya que está en situación de controlar el aula. Por tanto, nos interesa el desarrollo de una perspectiva subjetiva , sensible y autocrítica y no una aspiración hacia una objetividad inalcanzable" (Stenhouse, 1987 p 212).

En concordancia con la reflexión anterior, únicamente añadir que a pesar de la posible incidencia comentada, el lugar del profesor puede considerarse

como una plataforma privilegiada para **observar** el desarrollo del **proceso enseñanza-aprendizaje** dentro de un aula y esta convicción, así como anteriores experiencias personales, (García et al., 1989 y Santisteban y Varela, 1992), nos ha llevado a desarrollar nuestra investigación dentro de este paradigma.

De acuerdo con los planteamientos presentados, el modelo utilizado para evaluar todo el proceso de entrenamiento dentro del aula, consiste en **analizar** y **contrastar** diferentes informaciones con el ánimo de contestar a las siguientes preguntas que, a modo de **problemas**, nos habíamos planteado previamente:

- **¿Hasta que punto los alumnos cambian sus concepciones como resultado del proceso de enseñanza?**
- **¿Qué consecuencias podemos extraer al introducir como variables relevantes las diferencias individuales de los sujetos?**
- **¿Se da la oportunidad a los estudiantes para construir sus propios significados y si es así, cómo hacen uso los alumnos de estas oportunidades?**
- **¿Cuáles son las actitudes de los estudiantes hacia la metodología de resolución de problemas que se les ha propuesto?**

La investigación se ha desarrollado en una serie de fases donde hemos tratado de contestar a estas preguntas, tomando como referencia el marco teórico abordado en los capítulos anteriores.

6.1.1. FASES DEL TRABAJO Y TEMPORALIZACION

El desarrollo temporal de la investigación se ha realizado a lo largo de cuatro fases cuyo contenido presentamos a continuación:

- **Fase preliminar**

El trabajo empezó durante el curso académico 1990-91, como consecuencia del planteamiento del "problema": **La resolución de problemas de enunciado abierto como instrumento de cambio conceptual**. Para empezar a resolverlo, se abordaron algunos aspectos preliminares tomando como punto de partida las actividades siguientes:

a) Realización de entrevistas, grabadas en audio, a una muestra representativa de estudiantes con el fin de explorar sus ideas sobre que es para ellos un **problema** en el contexto escolar.

b) Selección de pruebas de lápiz y papel para evaluar los posibles esquemas alternativos de los alumnos y su posterior evolución: actividades de ensayo.

c) Selección y estudio de la metodología de resolución de problemas que se iba a desarrollar con los estudiantes y preparación de problemas de enunciado abierto acordes con los presupuestos curriculares donde estaba enmarcada la investigación.

El núcleo central del trabajo de campo se realizó a lo largo del curso académico 1991-92 y, como ya hemos comentado anteriormente, en un **marco escolar estándar** pudiendo considerarse dentro de él tres fases claramente diferenciadas:

- **Fase inicial.**

Las actividades realizadas dentro de esta etapa fueron:

a) Detección de esquemas conceptuales. Para cada una de las áreas abordadas -Mecánica y Electricidad- la evaluación inicial o de diagnóstico se realizó aproximadamente dos meses antes de comenzar la experimentación. Esta toma de datos se llevo a cabo, tanto con los alumnos correspondientes al grupo experimental como a los del grupo control.

b) Determinación de las variables cognitivas Dependencia-Independencia de campo y nivel de desarrollo del pensamiento formal para los sujetos que iban a constituir la muestra experimental.

- **Fase experimental.**

A lo largo de esta fase que podemos considerar propiamente la fase experimental, procedimos a realizar las tareas que exponemos a continuación:

a) Entrenar durante un período de cinco meses, a los alumnos del grupo experimental en la metodología investigativa de resolución de problemas de enunciado abierto que se había seleccionado previamente.

b) Realimentar el proceso utilizando dos procedimientos de recogida de información. Por una parte, el análisis de las producciones escritas desarrolladas por los estudiantes, complementadas con la observación participante, por parte del profesor-investigador, de sus aportaciones orales. Por otra, se realizaron entrevistas individuales encaminadas a la determinación de posibles obstáculos en el aprendizaje, al mismo tiempo que se intentaba promover en los estudiantes estrategias metacognitivas. El análisis de estas entrevistas facilitó la aplicación de **procesos de retroacción** dentro del aula.

- **Fase evaluativa.**

En el transcurso de esta fase, que se ha extendido al curso 1991-92, realizamos las siguientes actividades investigativas:

a) Constatar los esquemas conceptuales de los estudiantes del grupo experimental con la finalidad de determinar un posible cambio conceptual. Este estudio se realizó abordando las dos áreas que se han investigado: **Mecánica y Electricidad.**

b) Proceder a idéntica constatación con los sujetos del grupo control a fin de estudiar posibles diferencias con el grupo experimental.

c) Verificar la persistencia del cambio conceptual producido. Tomando como base teórica, la idea ampliamente compartida por los investigadores en este campo según la cual, las ideas originales de los estudiantes vuelven a implantarse, en mayor o menor grado al cabo de cierto tiempo de haber recibido instrucción en un campo concreto, nos ha parecido imprescindible comprobar la persistencia

del cambio conceptual en el transcurso del tiempo (McDermott, 1984; Tiberghien, 1983). De acuerdo con esta premisa, y ya durante el curso siguiente 1992-93, transcurridos diez meses desde el término de la experimentación, procedimos a realizar una exploración para determinar cual era, en ese momento, el mapa conceptual de los estudiantes que habían constituido el grupo experimental.

d) Detectar las actitudes de los estudiantes hacia la metodología investigativa de resolución de problemas desarrollada en el aula.

e) Evaluar los problemas realizados por los estudiantes del grupo experimental correspondientes a las áreas curriculares en que se ha trabajado..

La metodología de investigación y los instrumentos empleados serán presentados en este capítulo. Una descripción detallada del proceso de entrenamiento de los estudiantes en la resolución de problemas de enunciado abierto y los resultados obtenidos aparece en el **Capítulo 7**. El análisis correspondiente a los esquemas conceptuales de los alumnos, su posible evolución así como, la influencia de las diferencias individuales en todo el proceso se presentan en el **Capítulo 8**.

6.1.2. IMPLICACIONES CURRICULARES

Los antecedentes curriculares del curso **3º BUP** los encontramos en la asignatura de **Física y Química de 2º BUP**, materia obligatoria para toda la población escolar y por lo tanto impartida a un conjunto heterogéneo -en

preparación y motivaciones- de estudiantes. Este hecho ha conducido a los profesores del Instituto Rey Pastor, donde se ha realizado la investigación que estamos describiendo, a basar el desarrollo de la misma en planteamientos de tipo fundamentalmente explicativo de fenómenos naturales apoyándose en trabajos de carácter experimental.

Los alumnos que escogen la asignatura de **Física y Química en 3º BUP** tienen que abordar las programaciones oficiales, en vigor, implantadas en su día como consecuencia de la Ley General de Educación de 1.970 y que, en nuestra opinión, tiene un contenido conceptual excesivo. En lo que a **Física** se refiere, el Seminario Física y Química del Instituto Rey Pastor, decidió en su día reducir los planteamientos oficiales y centrar el programa de esta asignatura alrededor de dos núcleos temáticos fundamentales: La Mecánica newtoniana del punto material y la Electrodinámica y sus aplicaciones a circuitos de corriente continua, ganando en profundidad lo que se perdía en extensión. Se ha considerado que un aprendizaje significativo (en el sentido ausubeliano del término) de estos dos núcleos sienta unas bases sólidas para desarrollar el programa de Física correspondiente al Curso de Orientación Universitaria que, *vox populi*, conlleva un alto grado de dificultad para nuestros estudiantes.

La orientación de la propuesta curricular que hemos comentado, coincide con la aportada por la investigación en el campo de la Didáctica de las Ciencias. Así, en unas jornadas realizadas en Berkeley en 1986, cuarenta y cinco expertos en investigación y enseñanza de las ciencias hicieron la siguiente recomendación en lo que al curriculum se refiere: *"para ayudar a los estudiantes a un aprendizaje eficaz, es fundamental tratar en profundidad un número limitado de tópicos, frente a un tratamiento superficial de un número elevado de los mismos"* (M.C. Linn, 1987, p 202). Por otra parte, autores tan señalados como Reif y

Larkin (1991), llaman la atención sobre la necesidad de hacer conscientes a los alumnos de que la Ciencia está articulada alrededor de unos pocos principios generales que presentan la virtualidad de poder aplicarse a un amplio número de situaciones y en este sentido toman las palabras de Einstein:

"El objetivo de la ciencia es, por un lado, la comprensión, lo más completa posible, de la relación entre las experiencias de los sentidos en su totalidad, y, por otro, la consecución de este objetivo usando un mínimo de relaciones y conceptos primarios" (p 738).

Con estas premisas en lo que al currículo se refiere, se ha realizado la investigación sobre la **Resolución de Problemas** que presentamos en esta memoria. Los dos núcleos conceptuales mencionados -Mecánica y Electricidad- son los que se han abordado a lo largo de la investigación.

6.2. HIPOTESIS DE LA INVESTIGACION

A lo largo de los capítulos anteriores hemos hecho un esfuerzo por presentar el estado actual, desde un punto de vista teórico, de todos los temas relacionados con la investigación que estamos presentando. En este momento estamos en condiciones de plantearnos, **a modo de problemas**, una serie de hipótesis de trabajo coherentes con el marco de referencia, y que hemos tratado de contrastar a lo largo de este estudio.

La contrastación de estas hipótesis debe conducir a unos resultados generalizables, fácilmente replicables y, en el campo en que estamos trabajando, de claras **implicaciones didácticas**.

Antes de pasar a explicitar las hipótesis planteadas, merece la pena hacer una reflexión sobre su naturaleza y el papel que juegan en la investigación científica. Podemos tomar como punto de partida la afirmación de Mario Bunge: *"el centro de la actividad cognitiva de los seres humanos son las hipótesis y no los datos"* (Bunge, 1979 p 250), en la que se relativiza el carácter preponderante que a veces se ha dado a los datos -denominados por el autor elementos de información- frente al papel central que juega la hipótesis en el desarrollo científico. La Ciencia impone a la formulación de hipótesis, definidas como conjeturas formuladas para dar razón de hechos, tres requisitos que según el autor son:

i) la hipótesis tiene que ser bien-formada (formalmente correcta) y significativa (no vacía semánticamente),

ii) la hipótesis tiene que estar fundada en alguna medida en conocimiento previo; y si es completamente nueva desde ese punto de vista, tiene que ser compatible con el cuerpo del conocimiento científico,

iii) la hipótesis tiene que ser empíricamente contrastable mediante los procedimientos objetivos de la ciencia.

En nuestra opinión, las hipótesis planteadas a lo largo de la investigación van a cumplir estos requisitos que según la aportación de M. Bunge se considera condición necesaria y suficiente para calificar una **hipótesis** como **científica**. Por otra parte, hay que tener en cuenta que para contrastar las hipótesis científicas, se procede a operativizar sus términos, es decir las variables cuya relación expresan, traduciéndose generalmente en forma de hipótesis estadísticas las cuales son afirmaciones, en términos estadísticos, de las relaciones planteadas. Estas hipótesis deben contrastarse frente a otras del mismo nivel como las hipótesis nulas

"que afirman que las diferencias presumidas en los resultados, esto es, como fruto de los niveles de la variable independiente, son nulas en sentido estadístico, esto es, son diferencias no significativas, explicables por azar o como consecuencia de errores de muestreo "(García Hoz y Pérez Juste, 1989 p 334)

A continuación vamos a enumerar las hipótesis de esta investigación expresadas, para ganar claridad, en términos positivos y no en términos de no diferencias, modo en se van a utilizar en los tratamientos estadísticos.

- **Hipótesis referidas a los esquemas alternativos de los alumnos**

Aquí se recoge la existencia de esquemas conceptuales en los estudiantes y la posible influencia que en la evolución de estos esquemas y en el aumento de su nivel de coherencia interna, va a tener el entrenamiento en el campo de la resolución de problemas realizado por los alumnos. El marco teórico donde se apoyan estas hipótesis quedó ampliamente justificado en el **Capítulo 2**.

HIPOTESIS 1: El trabajo continuado con una metodología investigativa de resolución de problemas de enunciado abierto, va a producir en los estudiantes del grupo experimental, al final del proceso, diferencias significativas con respecto a los esquemas inicialmente disponibles en el campo de la Mecánica y de la Electricidad. En lo relativo a la persistencia en el tiempo, el nivel alcanzado se va a mantener aunque experimentando algún tipo de retroceso.

Desde un punto de vista operativo, vamos a dividir esta primera hipótesis en tres subhipótesis en las que se van a abordar aspectos parciales del planteamiento general.

En cuanto a la eficacia del tratamiento seguido por los estudiantes a la hora de conseguir un cambio conceptual significativo:

SUBHIPOTESIS H1.1: Tomando como referencia los esquemas conceptuales iniciales de los alumnos, y como consecuencia del proceso realizado, se va a producir una evolución hacia esquemas conceptuales más próximos a los defendidos actualmente por la Ciencia.

Acerca de la coherencia interna que presentan los esquemas conceptuales:

SUBHIPOTESIS H1.2: Los esquemas conceptuales de los estudiantes al final del proceso, van a tener un nivel de coherencia interna superior - dentro de cada una de las áreas investigadas- al que presentaban antes de realizar el entrenamiento en resolución de problemas de enunciado abierto.

La exploración de la persistencia en el tiempo del cambio conceptual producido en los estudiantes se realizó en el marco de la subhipótesis que presentamos a continuación:

SUBHIPOTESIS H1.3: El nivel adquirido por los estudiantes en lo que respecta a sus esquemas conceptuales, va a persistir en el tiempo aunque experimentando algún tipo de retroceso.

Tal como habíamos previsto en el diseño de la investigación se seleccionó un conjunto de cuarenta alumnos que ha constituido el grupo control. Inicialmente no existían diferencias significativas entre ambos grupos en lo que respecta a los esquemas conceptuales en los dos campos explorados y su comportamiento al final del proceso, en relación con el grupo experimental, ha sido previsto en la hipótesis direccional 2 así:

HIPOTESIS 2: El nivel adquirido en los esquemas conceptuales de Mecánica y Electricidad, va a ser significativamente superior en el grupo experimental- entrenado en la resolución de problemas abiertos- que en el grupo control.

Inicialmente no van a existir diferencias significativas entre ambos grupos. Los estudiantes del grupo de control han recibido una enseñanza de tipo fundamentalmente transmisiva estando las características de estos sujetos detalladas en el apartado siguiente.

- **Hipótesis referidas a la influencia de las diferencias individuales**

A lo largo del capítulo anterior, hemos descrito los planteamientos teóricos, en el marco de la **Psicología Cognitiva**, encaminados a poner de manifiesto que, determinadas variables individuales como el constructo Dependencia-Independencia de Campo, el nivel de desarrollo del pensamiento formal de los individuos y el sexo, podrían ser factores relevantes en la ejecución de tareas de Ciencias; sin embargo, tal como hemos apuntado, los resultados de las investigaciones no arrojan conclusiones que podamos considerar definitivas. Con ánimo de realizar una aportación a esta línea de investigación, a nuestro juicio fundamental por su **carácter integrador**, hemos planteado las siguientes hipótesis "no direccionales" emitidas bajo el supuesto de que estas **diferencias individuales van a interaccionar**, tanto sobre la posible evolución de los esquemas conceptuales de los estudiantes, como en su eficacia en la resolución de problemas.

En lo referente a la evolución de los esquemas conceptuales de los estudiantes, la hipótesis queda de la siguiente manera:

HIPOTESIS 3: El cambio conceptual en las áreas de Mecánica y Electricidad experimentado por los estudiantes, entrenados en una metodología investigativa de resolución de problemas, va a depender de la interacción del tratamiento con otras variables como el estilo cognitivo dependencia-independencia de campo, el nivel de desarrollo del pensamiento formal y el sexo.

En lo relativo a la resolución de problemas la hipótesis correspondiente quedaría:

HIPOTESIS 4: Las diferencias individuales, determinadas a partir del estilo cognitivo dependencia-independencia de campo, el nivel de desarrollo del pensamiento formal y el sexo, van a incidir en la capacidad de los individuos para resolver problemas. La interacción de estas variables con el tratamiento realizado, dependerá del tipo de tarea a resolver.

Para proceder a la contrastación de esta hipótesis, vamos a distinguir, por una parte, tareas de **contenido conceptual** frente a tareas centradas en la **metodología de resolución de problemas**. Análogamente distinguiremos, **problemas de enunciado abierto** frente a **problemas cerrados** del tipo usualmente utilizados en las clases de Física.

La metodología de investigación desarrollada y los instrumentos y métodos de análisis utilizados para la contrastación de las cuatro hipótesis que

hemos enunciado, se describe de forma detallada en el Apartado 6.4, presentando los resultados obtenidos en el **Capítulo 8** de esta memoria.

6.3. NATURALEZA Y ENTORNO DE LAS MUESTRAS UTILIZADAS

La muestra de esta investigación se puede considerar una muestra de tipo *incidental*, escogida con las características que vamos a describir.

El **grupo experimental** de este estudio, ha estado constituido por un conjunto de **36 alumnos de 3º de Bachillerato**, opción **Ciencias**, del Instituto Rey Pastor de Madrid. Esta muestra ha sido escogida de forma incidental con el criterio de que el investigador fuera su profesor para la asignatura de Física y Química.

El Instituto Rey Pastor, donde se ha realizado la investigación, puede ser considerado un centro prototipo de Instituto urbano dentro de nuestro país. Está ubicado en un barrio de tipo medio de Madrid (Moratalaz), tiene aproximadamente 1400 alumnos repartidos en dos turnos y ochenta y tres profesores de edad media 47 años, siendo prácticamente todos ellos profesores numerarios. Las instalaciones pueden considerarse aceptables, disponiendo de seis laboratorios para Ciencias Experimentales, aulas especializadas de Dibujo, Informática, Audiovisuales, Música e instalaciones deportivas.

La edad media de los estudiantes del grupo experimental en el momento de comenzar la toma de datos, ha sido de 16 años y 10 meses siendo 16 de ellos varones y 20 mujeres (**44,5%** y **55,5%** respectivamente).

Otro dato verificado es el relativo al nivel de estudios alcanzado tanto del padre como de la madre de los estudiantes. El status socio-económico de la muestra, teniendo en cuenta que aproximadamente el **60%** de los padres y el **25%** de las madres tienen algún tipo de estudio universitario, puede considerarse medio-medio/alto. Una representación gráfica de los resultados aparece en las Figuras 6.1 y 6.2.

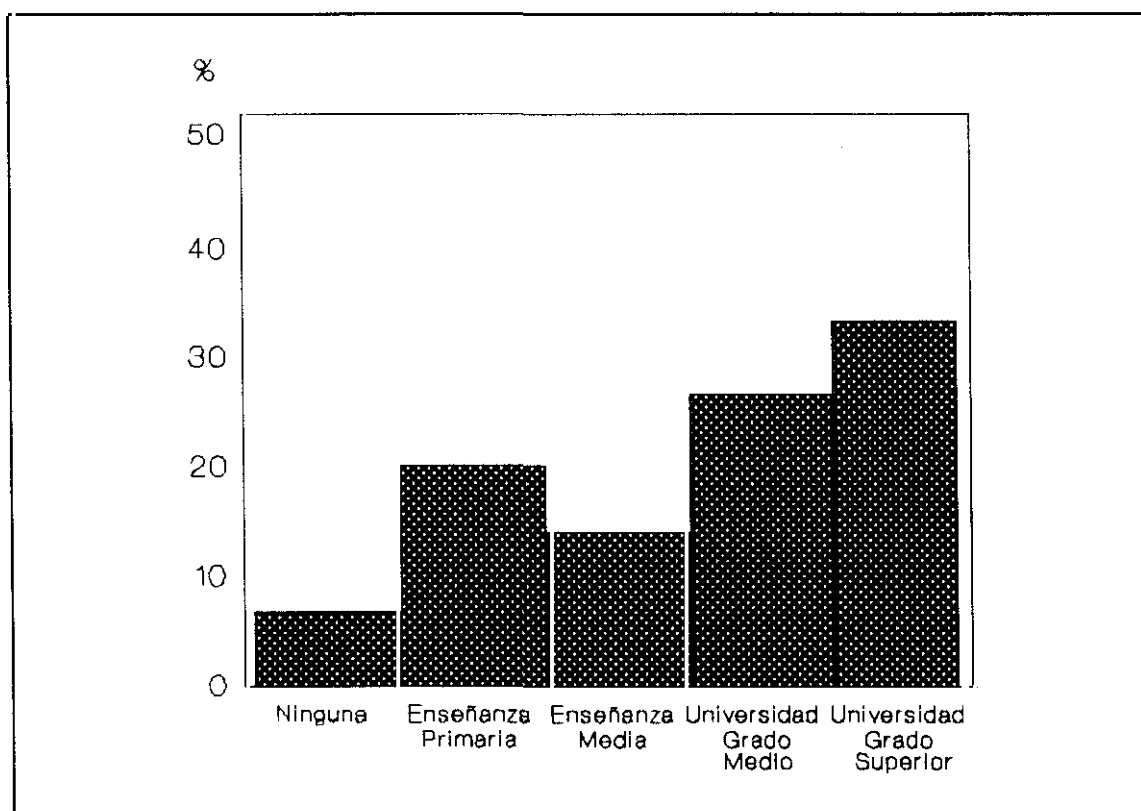


FIGURA 6.1. Nivel académico de los padres de los estudiantes del Grupo Experimental

En cuanto al problema de la **representatividad** y el **tamaño de la muestra**, diversos autores han teorizado al respecto. Así, refiriéndose al tamaño ideal para este tipo de estudios, algunos investigadores opinan que no se obtiene prácticamente, una mayor generalidad por aumentar el número de individuos

explorados sino que por el contrario, la validez de la investigación viene avalada por un diseño rico que "ilumine" diferentes aspectos del problema a investigar y, como consecuencia, señalan la necesidad de arbitrar mecanismos de exploración y contrastación de hipótesis de tal forma que los resultados obtenidos puedan considerarse complementarios, (Larkin y Rainard, 1984).

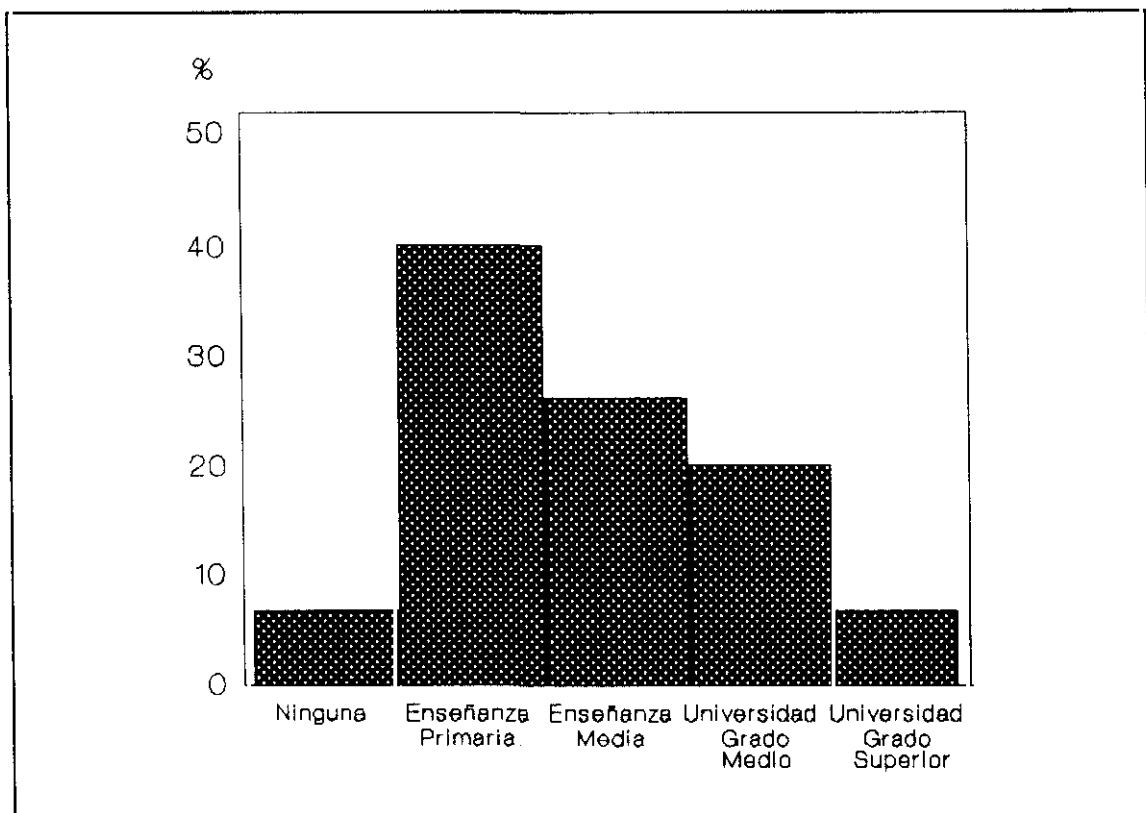


FIGURA 6.2. Nivel académico de las madres de los estudiantes del Grupo Experimental

Otra aportación interesante en la línea que estamos comentando, es la realizada por D.Fox (1987), cuando afirma:

"La pregunta sobre qué tamaño debe tener una muestra en lo esencial no tiene respuesta, salvo decir que debe ser suficientemente

grande para conseguir la representatividad. Evidentemente el número que se necesita para ello variará de un estudio a otro" (p 395).

El autor concluye que el tamaño muestral correcto es el tamaño necesario para conseguir la precisión que el investigador desee.

En consonancia con las opiniones apuntadas, en la elección de la muestra para esta investigación se **ha primado el aspecto de la representatividad sobre el problema del tamaño** entendida la primera, en el sentido de considerar la muestra seleccionada como representativa del universo al cual se quieren extrapolar las conclusiones que se obtengan de la investigación. En nuestro caso la representatividad vendría garantizada por el hecho de que el **grupo experimental**, un grupo de clase estándar de un Instituto de Bachillerato que podemos considerar prototipo de una amplia muestra de centros españoles, universo al cual podremos extrapolar las conclusiones obtenidas. Volveremos sobre este punto en el párrafo siguiente cuando describamos el grupo control.

El proceso de selección del **grupo** que se ha tomado como **control** a fin de estudiar posibles diferencias, tanto para la evaluación de diagnóstico como para los resultados obtenidos, ha seguido los siguientes pasos: en primer lugar, se escogieron cuatro Institutos de Madrid (Rey Pastor, Mariana Pineda, Marqués de Suances y Gerardo Diego), los cuales pueden considerarse representativos, en los términos arriba indicados, de la generalidad de los Institutos de Bachillerato. Una vez seleccionados los centros, se escogieron dentro de ellos, diversos grupos de alumnos de 3º de BUP, especialidad de Ciencias, que estaban siguiendo un curso de Física y Química totalmente estándar. Estos cursos, estaban bajo la dirección de cuatro profesores que pueden considerarse también

"profesores tipo", dentro del grupo de profesores expertos de nuestra enseñanza pública, debido a su edad y experiencia (45 años de edad media y 15 años de antigüedad). Del conjunto de alumnos seleccionados, aproximadamente un número de 200, se ha escogido al azar una muestra de 40 alumnos -pertenecientes a los cuatro profesores- que han constituido, finalmente, el **grupo control** de esta experiencia para la realización de los diferentes estudios comparativos.

Para terminar, una última alusión al tema de la representatividad. Para plantear la Hipótesis 2 de la investigación, se tomó como punto de partida que: " Inicialmente no van a existir diferencias significativas entre ambos grupos", hecho que se comprobó posteriormente con las correspondientes pruebas estadísticas. Esta afirmación estaba basada en admitir que los dos grupos, **experimental** y **control**, son muestras representativas de un mismo universo. Los resultados al respecto se presentan en el **Capítulo 8**.

6.4. METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION E INSTRUMENTOS UTILIZADOS

Como ya hemos comentado en el planteamiento general, el diseño de esta investigación aparece como un problema complejo y en este sentido, la metodología empleada y los instrumentos utilizados presentan múltiples aspectos que vamos a desarrollar con detalle a lo largo de este apartado.

6.4.1. METODOS CUANTITATIVOS/METODOS CUALITATIVOS: UN ENFRENTAMIENTO A SUPERAR.

En el ámbito de la investigación de resolución de problemas, las orientaciones de corte etnográfico tienen en la actualidad una presencia importante y en esta línea, la metodología empleada en nuestro trabajo ha incorporado esta perspectiva.

A lo largo de la investigación, hemos combinado tratamientos de tipo cuantitativo, con técnicas cualitativas (observación participante, entrevistas grabadas en audio, construcción de networks....) más idóneas a la hora de profundizar en las características de los razonamientos empleados por los estudiantes.

Antes de adentrarnos en la descripción de nuestro trabajo, vamos a justificar, desde una perspectiva teórica, el empleo de ambas metodologías. Se

puede considerar que hasta finales de los años 70, los investigadores en Didáctica de las Ciencias se encontraban en el que se ha venido en llamar "paradigma científico de la investigación", caracterizado por poner el acento en aspectos cuantitativos del conocimiento acompañados generalmente por tratamientos de tipo estadístico-matemático. La irrupción de la Psicología del aprendizaje en el campo de la Didáctica de las Ciencias, ha favorecido un desplazamiento de los investigadores, a partir de los años 80, hacia metodologías más cualitativas, preferentemente, cuando se quiere profundizar en la estructura cognitiva de los estudiantes.

En el momento actual, los esfuerzos se han encaminado a buscar la **compatibilidad** y **complementariedad** entre los dos enfoques con la idea de posibilitar el uso conjunto de los mismos aunque, sin olvidar, que siguen existiendo partidarios de una u otra orientación. En palabras de J. M. Alvarez:

"Intentar buscar coincidencias y colaboraciones mutuas no quiere decir que las cuestiones fundamentales que han distanciado ambas concepciones a lo largo del tiempo queden zanjadas en una serie de trabajos, aunque sí planteadas con suficiente claridad para descubrir ventajas e inconvenientes, poderes y debilidades, alcances y limitaciones, de cada enfoque, dado que entrañan dificultades que no admiten soluciones de carácter definitivo. Y tal vez tampoco convenga encontrarlas" (Alvarez, 1986 p 10).

En la misma línea de clarificación sobre qué se consideran investigaciones cualitativas o cuantitativas, ha habido en España, aportaciones recientes como la de Morales y Montero (1993), que han hecho un planteamiento de fondo sobre qué estrategias hay que utilizar para diferenciar un enfoque del otro. Estos

autores apuntan como solución dos elementos de análisis: la noción de paradigma utilizado por el investigador (características epistemológicas y características relacionadas con la contrastación), y la actitud que cada investigador adopta ante el problema a investigar.

Unida íntimamente a los planteamientos cualitativos, considerados como alternativos, está la concepción última sobre qué es la investigación educativa y como consecuencia cuáles deben ser sus métodos. Para contestar al interrogante planteado, Carr y Kemmis (1988), se han manifestando en el sentido de que **la investigación educativa tiene como propósito específico resolver problemas educativos que son siempre problemas prácticos y como tales no están gobernados por las reglas de la investigación teórica.** Por el contrario, los problemas aparecen cuando las prácticas empleadas en las actividades educativas son en algún sentido inadecuadas para el propósito con que se emprendieron y además, al denotar un problema educativo el fracaso de una práctica, también denota un fallo en la teoría que apoya la creencia en la eficacia de esa práctica. Como consecuencia, cualquier investigación interesada en **resolver problemas educativos, no puede conformarse explicando las propias interpretaciones de los prácticos, sino que debe estar preparada también para evaluarlas críticamente y sugerir explicaciones alternativas que representen un avance.**

En el marco de la discusión que venimos comentando, aparecen planteamientos conciliadores como las de Cook y Reichardt (1986) tratando de responder a preguntas del tipo:

¿Es preciso escoger entre el paradigma cualitativo o el cuantitativo?

¿Por qué no emplear tanto los métodos cualitativos como los cuantitativos?

En cuanto a la primera, los autores opinan que no hay que limitarse a uno u otro de los paradigmas cuando pueden elegirse atributos de ambos con la finalidad de atender mejor a las exigencias de la investigación, es más, no ven problema para que en el curso de la misma se pase de uno a otro si conviene al trabajo que se está realizando. En la misma línea plantean, la para ellos falsa dicotomía: **métodos cualitativos versus métodos cuantitativos**, utilizando los siguientes argumentos:

"La investigación evaluativa tiene por lo común propósitos múltiples que han de ser atendidos bajo diferentes condiciones que a menudo, exigen variedad de métodos. Empleados en conjunto y con el mismo propósito, los dos tipos de métodos pueden vigorizarse mutuamente para brindarnos percepciones que ninguno de los dos podría conseguir por separado. Ya que los métodos cuantitativos y cualitativos tienen con frecuencia sesgos diferentes, será posible emplear a cada uno para someter al otro a comprobación y aprender de él" (Cook y Reichardt, 1986, p 43).

Apoyándonos en toda la reflexión teórica que hemos presentado y, tal como comentamos al principio de este apartado, hemos tomado **la opción de utilizar ambas metodologías de trabajo de acuerdo con las necesidades surgidas en el diseño de la investigación**. En consecuencia, cuando se ha querido analizar el proceso seguido por los alumnos, se han utilizado métodos cualitativos -en la línea investigación-acción- cuyos resultados aparecen en el **Capítulo 7**. Los resultados de la contrastación de las hipótesis de la investigación, mediante métodos cuantitativos se detallarán en el **Capítulo 8**.

6.4.2. LAS IDEAS PREVIAS Y SU POSIBLE EVOLUCION. INSTRUMENTOS UTILIZADOS EN SU DETECCION.

Como ya ha quedado explicitado anteriormente, los campos de la Física abordados en el estudio que presentamos han sido **Mecánica** y **Electricidad**, empleándose un conjunto de pruebas para la evaluación de los estudiantes en las tres fases, inicial o de diagnóstico, final y de recuerdo, que se han cubierto en el desarrollo de la investigación. Las pruebas utilizadas corresponden a los conceptos que, en nuestra opinión, estructuran los contenidos curriculares correspondientes al nivel académico en que se ha trabajado.

Existen en la actualidad a disposición de los profesores/investigadores una serie de pruebas útiles para determinar los esquemas conceptuales de los alumnos dentro del rango de edad en que hemos trabajado en nuestra investigación. Una selección de estas pruebas ya se ha comentado en la revisión bibliográfica llevada a cabo en los **Capítulos 3 y 4** y como quedó claramente expuesto, existe un amplio consenso **-juicio de expertos-** sobre la idoneidad de estas pruebas cuando se utilizan para investigar cuáles son los **esquemas conceptuales alternativos** de los estudiantes al enfrentarse, dentro del contexto escolar, al estudio de conceptos básicos de **Física**.

Con la finalidad de operativizar las hipótesis relativas a las ideas de los estudiantes, se han seleccionado, del banco disponible, una batería de pruebas, tanto de formato abierto como cerrado, encaminadas a determinar los esquemas conceptuales de los alumnos en cada una de las fases de la investigación.

El procedimiento de selección y posterior distribución ha sido el siguiente:

- Los esquemas conceptuales escogidos para la evaluación han sido agrupados de acuerdo con los apartados en que aparecieron clasificados a lo largo de los **Capítulos 3 y 4**. Esta clasificación está basada en los esquemas conceptuales alternativos más problemáticos y por ende mejor investigados.

- El conjunto de pruebas seleccionado para la exploración se dividió en dos grupos semejantes: pruebas iniciales-pruebas finales. De este modo, las respuestas dadas por los alumnos en las dos fases de la evaluación, para cada uno de los esquemas conceptuales explorados, pudieron incluirse en un mismo conjunto de categorías conceptuales definidas al respecto.

- Con este procedimiento de categorización se puede medir el cambio conceptual experimentado por cada uno de los alumnos según la modificación o no de la categoría donde queda inscrito en cada una de las fases de evaluación.

- En la evaluación de recuerdo se han utilizado las mismas pruebas que en la evaluación final aunque con la siguiente salvedad: cuando se planteó realizar este tipo de evaluación, 10 meses más tarde de terminada la experiencia, los alumnos que formaban el grupo experimental estaban cursando mayoritariamente la asignatura de Física de COU y en el desarrollo de su programación habían abordado ya la Mecánica correspondiente a este nivel. Esta circunstancia nos llevó a evaluar únicamente la persistencia del cambio en el campo de la **Electricidad** ya que, los datos de **Mecánica** que se hubieran podido recoger habrían estado fuertemente afectados por el trabajo realizado.

El análisis de las producciones elaboradas por los estudiantes se ha llevado a cabo mediante las siguientes pautas:

1) En primer lugar se procedió a un estudio general de las respuestas emitidas por los alumnos para, a la vista de las regularidades que iban emergiendo, establecer las categorías correspondientes.

2) A partir de la información recogida se realizó una clasificación de las categorías de respuestas ordenadas en **tres niveles**, de mayor a menor, según la calidad de las contestaciones emitidas. Una clasificación de estas características reúne las cuatro propiedades que en opinión de D. Fox (1987) son deseables cuando se establece un conjunto de categorías: "*homogeneidad, inclusión, utilidad y exclusión mutua* " (pp 178-179).

Nivel 1. Los alumnos se han categorizado en este nivel cuando presentan contestaciones no coherentes para las distintas tareas que, dentro de cada uno de los esquemas conceptuales, se les ha presentado. Sus contestaciones dependen en gran medida del contexto en que se emiten siendo, desde el punto de vista de la **Física**, claramente erróneas.

Nivel 2. Corresponde a las respuestas de los estudiantes que, con una idea alternativa, la aplican con cierto grado de coherencia cuando resuelven las distintas tareas que se les presentan. Las explicaciones que aparecen en sus respuestas concuerdan con esta idea.

Nivel 3. Los alumnos clasificados dentro de este nivel son aquellos cuyas contestaciones las podemos considerar científicamente aceptables dentro de las limitaciones pertinentes: problemas de lenguaje, aproximaciones escolares a la Ciencia, etc....

Las categorías que hemos definido van a permitir construir las correspondientes **escalas ordinales** donde cada grupo de estudiantes va a ocupar una posición relativa respecto a los demás para cada uno de los esquemas conceptuales abordados a lo largo de la investigación.

En el **Anexo 1** aparecen, para cada una de las áreas de contenido investigadas, **Mecánica y Electricidad**, los modelos de todas las pruebas que se han utilizado a lo largo de la investigación indicando los esquemas conceptuales explorados en cada una de ellas.

6.4.3. LA INFLUENCIA DE LAS DIFERENCIAS INDIVIDUALES. EL PROBLEMA DE SU MEDICION.

En el **Capítulo 5** hemos hecho una amplia y documentada exposición sobre las bases teóricas a tener en cuenta cuando se intenta explorar las diferencias individuales que pueden existir dentro de un grupo de alumnos de características similares a los participantes en esta investigación. En el marco de estas aportaciones, hemos emitido las **Hipótesis de trabajo 3 y 4** que van a tomar en consideración la influencia de este tipo de variables en la actuación de los estudiantes (ver Apartado 6.2). Vamos a comentar ahora los instrumentos - **Test GEFT y Test de Longeot**- utilizados en nuestro trabajo para la determinación de estas variables, detallando algunos aspectos relativos a la validez de los mismos y a los baremos utilizados usualmente para su corrección.

- **El test de figuras enmascaradas, forma colectiva: GEFT (Group Embedded Figures Test)**

El Test **GEFT**, diseñado para la determinación del estilo cognitivo dependencia-independencia de campo, es una adaptación del Test **EFT** que se utiliza normalmente cuando hay que realizar una medida con una muestra numerosa de individuos. Los resultados obtenidos con este tipo de pruebas se relacionan, en opinión de sus autores con la tendencia a funcionar en un nivel de percepción más o menos diferenciado, pudiéndose considerar la medida resultante un **elemento indicador** en el progreso del desarrollo individual de la diferenciación (Witkin et al., 1987).

J.M. García Ramos en su libro: *"Los estilos cognitivos y su medida: estudios sobre la dimensión dependencia-independencia de campo"* (1989), define el **GETF** como un test que mide *"la capacidad de un sujeto para encontrar una figura geométrica simple que se halla incorporada dentro de una figura compleja, en ausencia de la figura simple del marco visual "* (p 281). Esta prueba consta de 18 items divididos en dos grupos, en principio del mismo nivel de dificultad, precedidos de siete items que sirven de entrenamiento y no influyen en la calificación obtenida; la puntuación total de un sujeto en esta prueba es la suma de los elementos realizados correctamente en un tiempo limitado - los autores del test aconsejan cinco minutos por sección - por lo tanto, el tiempo es un factor muy importante y volveremos sobre él más adelante. De momento, indicar que la influencia del tiempo, convierte el **GEFT** en una prueba de "rapidez de ejecución" y por tanto su resultado sería, en principio, una medida de "capacidad" más que una medida de "estilo".

Se entiende que una clasificación alta en la prueba indica una mayor capacidad para encontrar figuras simples enmascaradas en figuras complejas, lo que se traduce en un mayor grado de **Independencia de Campo**, estando en el extremo opuesto los sujetos dependientes de campo, o dicho de otra forma, el **GEFT** mide el estilo cognitivo DIC en una dimensión bipolar.

De acuerdo con los planteamientos que discutimos en el Apartado 5.2.1, dentro del estilo dependencia-independencia de campo se pueden admitir, al menos, dos subconstructos claramente diferenciados: **percepción de la verticalidad** y **reestructuración cognitiva**, estando este último -medido básicamente por el test GEFT- vinculado fundamentalmente a características de tipo **analítico-numérico**. En opinión de García Ramos, el **GEFT** está **relacionado con todas aquellas variables que suponen capacidad de análisis, tanto perceptivo como numérico y en esta línea, va a mantener correlaciones significativas con variables cognitivas de carácter no verbales** (en el Apartado 5.2.2 recogimos la opinión de Fernández Ballesteros en términos similares). Sin embargo, esta autora llama la atención sobre el hecho de que los análisis de varianza realizados ponen de manifiesto la parcialidad de la relación que estamos comentando con lo que se puede afirmar, que el subconstructo **reestructuración cognitiva** podría estar también vinculado con variables analíticas de personalidad, o incluso la propia percepción de la verticalidad.

En cuanto a otras características del test que estamos describiendo, se han realizado numerosos trabajos encaminados a determinar la idoneidad del instrumento. Nosotros vamos a mencionar aquí, únicamente, los resultados obtenidos con muestras españolas ya que éstos, nos van a servir de referencia para analizar los datos obtenidos en la investigación que hemos realizado.

J. M. García Ramos, en la obra comentada, presenta una investigación realizada con una muestra -considerada por el autor suficiente y representativa - de 1200 alumnos de cuatro Facultades pertenecientes a la Universidad Complutense, escogidas en base al tipo de conocimientos y al mayor o menor carácter profesional de los estudios que se imparten en ellas. La toma de datos se realizó en el curso 1981-82 controlándose las variables sexo (39,5% varones, 60,4% mujeres) y edad (22 años de media). Algunas de las conclusiones aportadas por el autor son las siguientes:

- El nivel de medición adecuado para esta prueba es el de intervalos, admitiéndose igualdad de diferencias entre puntuaciones de intervalos sucesivos (la puntuación del test va de 1 a 18).

- Aparecen diferencias significativas entre varones y mujeres a favor de los primeros. El autor sugiere tipificar la prueba diferencialmente para ambos sexos, al objeto de dotarle de un mayor valor diagnóstico.

- La variable "tipo de estudios" se ha mostrado como una variable relevante. Los estudiantes de "ciencias" obtienen una puntuación significativamente superior a los de "letras". El autor sugiere de nuevo baremos diferenciados para estos colectivos.

- El **GEFT** presenta una fiabilidad muy superior (0,82-0,84) a la que podría esperarse de una prueba de sólo 18 items. Esta fiabilidad aparece en términos de estabilidad, de homogeneidad y de consistencia interna.

- El test presenta una fuerte homogeneidad entre las secciones que lo constituyen y una elevada homogeneidad de todos y cada uno de los items respecto a la prueba total.

Debido al hecho de que el test **GEFT** discrimina poco (la prueba carece de items muy difíciles y contiene un elevado número de items fáciles), el autor aconseja la modificación del tiempo de aplicación -los autores recomiendan cinco

minutos- bajándolo a 4 o incluso a 3,5 para alumnos universitarios. En nuestra investigación la realización de la prueba tuvo una duración de cuatro minutos.

En síntesis, el autor opina que:

"el test GEFT, como medida del subconstructo "reestructuración cognitiva" es, en términos generales, un instrumento técnicamente bien construido, al haberse seguido en su elaboración todas las prescripciones técnicas exigibles para este tipo de prueba" (1988, p 397).

Sin embargo, considera la necesidad de estudios posteriores de validación del constructo estilo cognitivo DIC y de los subconstructos que pueden considerarse dentro de él.

Aparte del trabajo que acabamos de comentar, en España, se han realizado diferentes estudios de los cuales destacamos por sus resultados, los llevados a cabo por Fernández Ballesteros y Maciá (1981), con una muestra de 220 estudiantes de Filosofía y Letras; Roda (1982) con 400 alumnos de 7º de EGB, y López Gómez y Roda (1984) con 400 alumnos de 6º a 8º de EGB. Las conclusiones son similares a los que acabamos de describir: a) aparece la variable sexo como factor relevante siempre a favor de los varones, b) entre alumnos universitarios, los de "ciencias" son más independientes que los de "letras" y c) se encuentra una relación entre la DIC y aspectos analíticos de la inteligencia.

En la investigación que nos ocupa, la conclusión de García Ramos sobre la constatación de que la respuesta al test GEFT está asociada con funciones de **reestructuración cognitiva**, nos resulta muy interesante para la finalidad que nos

habíamos propuesto: estudiar la influencia del DIC con la posibilidad de que los estudiantes experimenten procesos que impliquen cambio conceptual al mismo tiempo que desarrollan cierta eficacia a la hora de resolver problemas de enunciado abierto. Ambas tareas que, por su propia naturaleza, están ligadas claramente a procesos de reestructuración cognitiva.

De acuerdo con las indicaciones de los autores del test que estamos comentando se ha clasificado a los alumnos en cuatro niveles dependiendo de su respuesta a la prueba (Witkin et. al. 1985).

- **El test de Longeot**

El test de Longeot es un test de lápiz y papel construido inicialmente por este autor (Longeot, 1965) y traducido al español por Aguirre de Cárcer. Perteneciente a la escuela francesa, F. Longeot ha realizado un interesante trabajo en un intento de sintetizar la psicología genética con la psicología diferencial admitiendo como punto de partida que un buen diagnóstico de las funciones cognoscitivas debe basarse más en los mecanismos operatorios que utiliza el sujeto que en sus rendimientos.

La validez de este test para el tramo de edad en que se ha empleado ha sido comprobada por Ahlawat et al. (1982 y 1987) y en España. Aguirre de Cárcer (1985), como ya comentamos en el Apartado 5.3.1., ha utilizado esta prueba con muestras que van desde alumnos de 2º BUP hasta primer curso de diferentes carreras universitarias a fin de estudiar la evolución del pensamiento formal en nuestro país.

El test de Longeot está dividido en cuatro subtests que miden aspectos característicos del pensamiento formal y que están compuestos por los siguientes items:

TL1. Anagramas: formado por 5 items de inclusión de clase.

TL2. Combinatoria: formado por 6 items, dos de los cuales tienen a su vez dos partes claramente diferenciadas.

TL3. Lógica de proposiciones: formado por 12 items, cinco de razonamiento y siete problemas siendo el primero de cada grupo de entrenamiento.

TL4. Probabilidades o proporciones: formado por 10 items, el primero de los cuales es también de entrenamiento.

En cada uno de los subtests, según F. Longeot, aparecen items que únicamente requieren razonamiento concreto e items que necesitan razonamiento operatorio formal para su resolución. También aparecen items de formato abierto y de formato cerrado aportando los primeros un 40 % de la puntuación global. Su corrección puede hacerse únicamente de forma cuantitativa o permite también una valoración cualitativa en que se tenga en cuenta el procedimiento que ha seguido el sujeto para contestar los items de formato abierto. Sugiere también el autor, a la luz de las puntuaciones obtenidas en cada uno de los subtests, una posible clasificación de los individuos en tres categorías (**concreto, transición y formal consolidado**) de fácil aplicación a cualquier muestra analizada. Sin embargo, debido a que el autor no da criterios para clasificar a los sujetos de acuerdo con la puntuación global obtenida en el test, un equipo de investigadores de nuestro país, (López Rupérez et al.,1987), han sugerido a partir de los resultados obtenidos en las pruebas parciales la posibilidad siguiente:

- Se clasifica un sujeto como formal (formal consolidado) cuando actúa como tal en, al menos, tres de las cuatro pruebas del test de Longeot.

- Se clasifica un sujeto como concreto cuando actúa como tal en, al menos, tres de las cuatro pruebas de dicho test.

- Se clasifica un sujeto como transición cuando no puede ser incluido en ninguna de las anteriores categorías.

En nuestra investigación, hemos utilizado el mismo criterio que estos autores a la hora de categorizar a los individuos de acuerdo con la puntuación obtenida en el test de Longeot.

Cuando el grupo de López-Rupérez ha trabajado, utilizando el criterio que hemos apuntado, con una muestra longitudinal desde 1º BUP hasta 3º BUP, los resultados han sido los que aparecen en la Figura 6.3.

Como puede observarse las puntuaciones globales experimentan un aumento progresivo con la edad (**11% formal consolidado en 1º BUP, 50% al terminar 3º BUP**) estando la puntuación de los varones significativamente por encima de la de las mujeres, aunque esta diferencia disminuye con la edad.

Los resultados obtenidos por estos autores en cada uno de los subtests coinciden con los de otras investigaciones, el mismo Longeot en 1969 hizo una aportación en ese sentido en un trabajo con 210 individuos, referente a que **el pensamiento formal no constituye una estructura homogénea de conjunto**, sino que hay una influencia clara de la naturaleza de la tarea.

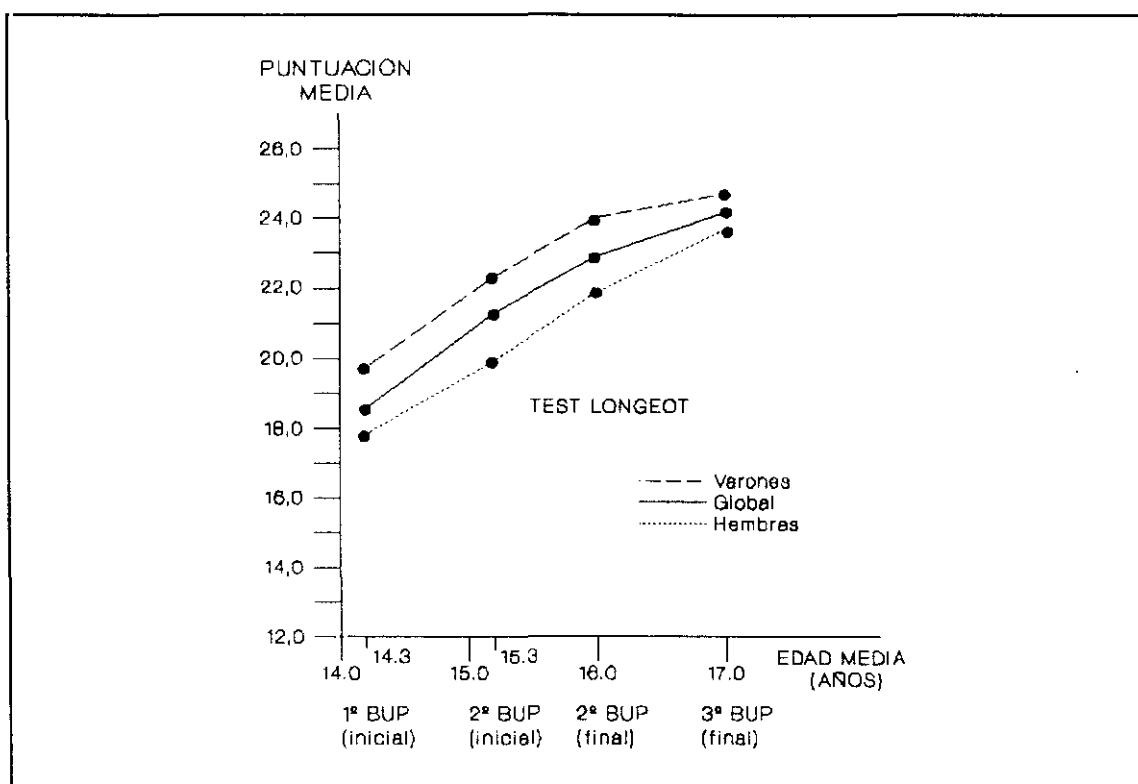


FIGURA 6.3. Resultados Test de Longeot para una muestra de alumnos españoles (López Rupérez et al 1987)

Por el interés en la investigación que nos ocupa, vamos a describir con cierto detalle un trabajo realizado por López Rupérez y colaboradores, con el fin de comprobar la idoneidad de este test en el campo de las Ciencias (1986). Estos autores llevaron a cabo una validación del Test de Longeot tomando como referente un test de rendimiento en Física. La muestra utilizada fue de aproximadamente 200 alumnos (mitad hombres, mitad mujeres) de 16 años de edad y status económico medio-alto. En este trabajo colaboraron profesores de Física, Química y Psicólogos la clasificación de los ítems de Física en concretos y formales, emitiendo un juicio de expertos, procedimiento ampliamente admitido en este campo de investigación.

Las conclusiones obtenidas en cuanto a la validez predictiva del Test de Longeot sobre el rendimiento en Física son las siguientes:

- El coeficiente de correlación entre la puntuación global del Test de Longeot y el rendimiento obtenido en Física pone de manifiesto que el nivel de desarrollo del pensamiento formal es un **buen predictor** para el aprendizaje científico.

- Cuando se clasifican los diferentes items del test de Longeot, siguiendo el criterio de su autor, en concretos y formales estudiándose a continuación su posible relación con el rendimiento en Física, se observa que la puntuación obtenida por los estudiantes en los items formales del test de Longeot es un mejor predictor del rendimiento en Física que la obtenida en los items concretos.

- Al analizar con detalle el comportamiento de los sujetos formales, se encuentra que estos individuos tienen más éxito que los concretos no solamente en la contestación de los items de Física considerados formales, como cabría esperar, sino también en los items concretos. Según los autores estos resultados coinciden con los obtenidos en otras investigaciones en las cuales se han usado diferentes instrumentos de medición (tareas piagetianas e items de opción múltiple) y en consecuencia afirman que:

"los items de rendimiento en Física, más allá de su carácter concreto/formal, corresponden a un contenido de instrucción definido, de modo que la eficiencia en el aprendizaje y los factores a ella asociados influirán notablemente en el resultado final. Los datos experimentales anteriormente descritos parecen indicar que los sujetos formales aprenden mejor o, por lo menos, rinden más que los sujetos no formales ante cualquier tipo de tarea concreto/formal de Física básica" (López Rupérez et al, 1986, p41).

Resultados de investigaciones como los que acabamos de comentar, en que se pone de manifiesto la relación entre el rendimiento en tareas de Física (en nuestro caso tareas de tipo conceptual y de resolución de problemas) y las puntuaciones obtenidas por los sujetos en el Test de Longeot, nos ha llevado a utilizar esta prueba para la determinación del nivel de pensamiento formal de la muestra utilizada como grupo experimental en la tesis doctoral que ahora presentamos .

Para la administración y análisis de las pruebas, el test GEFT y el test de Longeot, a la muestra sujeto de esta investigación, hemos contado con la colaboración de una psicóloga experta en este tipo de tareas.

6.4.4. LAS ACTITUDES DE LOS ESTUDIANTES: UN ASPECTO RELEVANTE A CONSIDERAR

La importancia de las actitudes en el aprendizaje de las ciencias es una cuestión que está adquiriendo gran relevancia al considerarse que los factores cognitivos no son los únicos que mediatizan dicho aprendizaje. Según muestran las investigaciones en este campo con estudiantes entre 14 y 17 años, el factor que tiene mayor influencia sería la escuela y, más concretamente, todo lo relacionado con el aula: metodología de trabajo en la clase, actitudes y comportamiento del profesor, tiempo en que el alumno está implicado directamente en tareas de aprendizaje... (Simpson y Oliver, 1990). También se ha descrito el efecto favorable que ejerce el hecho de tratar en las clases tanto las aplicaciones técnicas de la Ciencia como su capacidad de modificar el medio (Acevedo,1993 y Solbes y Vilches, 1989).

Parece evidente que los resultados anteriores, ponen en cuestión la idea, bastante extendida, de que la familia y el medio social pueden ser barreras infranqueables para el aprendizaje, ante las cuales no hay nada que hacer. Por el contrario, la escuela y particularmente el profesor, pueden jugar, a pesar de un medio desfavorable, un papel muy importante debido a su gran potencialidad para conseguir que los alumnos progresen.

En la línea que estamos apuntando, podemos admitir que uno de los factores que influye considerablemente en que se produzca un aprendizaje significativo, va a ser el grado en que el alumno se siente "cómodo" con la metodología que se está utilizando dentro del aula. En particular, metodologías como la que se ha desarrollado en el marco de nuestra investigación, en que los estudiantes entran en contacto, no solo con el profesor, sino con los otros compañeros, en situaciones y contextos diversos, contrastando ideas, información etc. van a incidir en una actitud favorable hacia el aprendizaje de las Ciencias,(Ortega et al., 1993).

El problema de la medición de las actitudes es un asunto complejo. Para determinar el nivel de aceptación de una determinada forma de trabajo tenemos que recurrir a indicadores externos o, a analizar las manifestaciones de los propios sujetos admitiendo que éstos son organismos esencialmente racionales que utilizan la información de que disponen para emitir juicios. Partiendo de esta base, hemos utilizado como instrumento de medición en la investigación que estamos describiendo, una encuesta de lápiz y papel que, de forma anónima, fue contestada al finalizar el período de trabajo. La variable sexo fue de nuevo controlada.

De acuerdo con el tipo de información que deseábamos conocer, la encuesta fue diseñada alrededor de cuatro organizadores que recogen información de las opiniones de los estudiantes sobre:

i) Características de la tarea realizada -resolución de problemas abiertos- en cuanto a nivel de dificultad, facilidad para el aprendizaje de conceptos y adquisición de destrezas científicas.

ii) Incidencia sobre la autoconfianza del alumno en la resolución de problemas y su actitud hacia las Ciencias.

iii) Factores relacionados con la metodología de trabajo y el papel jugado por el profesor.

iv) Posible transposición de conocimientos a otras materias científicas y a posibles actividades fuera del aula (dominio cotidiano).

Como dato complementario, recogimos la intencionalidad, por parte de los alumnos de proseguir estudios donde la **Física** ocupe un papel relevante. En nuestra opinión -corroborada por otros autores como J.J.Vera, (1991)- el hecho de que una determinada asignatura sea importante, a criterio del alumno, para sus posteriores estudios e incluso para una posible opción profesional, actúa como factor motivador de cara al trabajo que está realizando, mientras que la motivación disminuirá si el alumno en cuestión considera que su contacto con la **Física** va a terminar cuando acabe el curso académico. Hay trabajos recientes que ponen en duda esta cuestión, así Espinosa y García (1993) no han encontrado correlación entre las actitudes hacia la Ciencia y la elección de la carrera en primera opción.

ENCUESTA

¿Estás interesado en realizar estudios superiores en que la Física ocupe un lugar importante? En caso afirmativo, indica cuáles.

Señala con una cruz la casilla que te corresponde:

hombre ☐

mujer ☐

1.- La RPA me ha parecido una tarea (RPA=resolución de problemas abiertos)

aburrida 1 2 3 4 5 interesante

porque...

2.- La RPA me ha resultado una actividad

difícil 1 2 3 4 5 fácil

porque...

3.- La RPA me ha ayudado a aprender conceptos de Física

poco 1 2 3 4 5 mucho

porque...

4.- La RPA me ha ayudado a familiarizarme con procedimientos más científicos de trabajo

poco 1 2 3 4 5 mucho

porque...

5.- La RPA me ayuda a realizar problemas cerrados (tipo los que aparecen en el libro de texto)

poco 1 2 3 4 5 mucho

6.- Con las estrategias de resolución de problemas que he aprendido, me siento más capacitado para intentar resolver otros problemas que en principio me resultan desconocidos

no 1 2 3 4 5 sí

porque...

7.- ¿Cómo te ha resultado la ayuda que has recibido del profesor para aprender a resolver problemas?

inútil 1 2 3 4 5 muy útil

porque...

8.- El tipo de problemas que hemos resuelto, ¿te ayudará en el futuro a resolver situaciones de tu vida cotidiana (hogar, automóvil, juegos,...)?

poco 1 2 3 4 5 mucho

porque...

9.- ¿Crees que los procedimientos de trabajo que has practicado en la RPA te van a ser útiles cuando resuelvas problemas de otras materias: Matemáticas, Química, Biología...?

poco 1 2 3 4 5 mucho

porque...

10.- La forma en que hemos trabajado la asignatura, ¿te ha abierto nuevas perspectivas e interés sobre qué es la Física o las Ciencias en general?

no 1 2 3 4 5 sí

porque...

11.- ¿Cómo te ha resultado la metodología con que se han desarrollado las clases de Física?

inadecuada 1 2 3 4 5 adecuada

porque...

12.- El tipo de trabajo que hemos realizado, ¿ha aumentado tu autoconfianza para resolver problemas?

poco 1 2 3 4 5 mucho

porque...

FIGURA 6.4. Encuesta para determinar actitudes en los estudiantes del Grupo Experimental

En la Figura 6.4 presentamos el modelo de la encuesta utilizada, con formato de **diferencial semántico** -instrumento frecuentemente utilizado en la medición de actitudes (Schibeci, 1982; Serrano 1988)- donde en cada pregunta se le exige a los estudiantes una pequeña explicación. Este hecho nos ha parecido importante a la hora de analizar los resultados de la encuesta pues nos va a permitir no sólo una valoración cuantitativa, sino extraer conclusiones de corte más cualitativo muy interesantes para investigaciones como la realizada.

6.4.5. "APRENDIENDO A APRENDER": EL PAPEL DE LA METACOGNICION

En el marco de la Psicología del aprendizaje y más en concreto dentro del campo de la Didáctica, está hoy día ampliamente admitido que el aprendizaje tiene que concebirse como algo más amplio que la familiarización del alumno con una determinada área de conocimiento. Así por ejemplo, White y Gunstone (1989) consideran como fines de la educación "producir" personas informadas e independientes entendiendo por independientes, sujetos que hayan desarrollado capacidades para aprender. En esta línea, numerosos investigadores destacan la importancia de lo que se han venido llamando técnicas de "**aprender a aprender**" unidas significativamente al concepto de **metacognición** vinculado al proceso por el cual los estudiantes reflexionan sobre su propio conocimiento.

Desde el campo de la Psicología, y desde una perspectiva de resolución de problemas, una de las aproximaciones clásicas al concepto de metacognición, es la realizada por J. Flavell (ya citado en el Apartado 1.2 al describir las diferencias expertos/ novatos) en un intento de apoyar la interpretación de la inteligencia como habilidad para resolver problemas, propuesta por Resnick y Glaser (1976):

"la metacognición se refiere al conocimiento que uno tiene sobre los propios procesos y productos cognitivos o sobre cualquier cosa relacionada con ellos. La metacognición implica un examen activo y la consiguiente regulación y organización de los procesos psicológicos en relación con los objetivos cognitivos sobre los que versan, por lo general, al servicio de algún fin u objetivo concreto" (Flavell, 1976 p 232).

En el mismo texto Flavell hace referencia a aspectos relacionados con el almacenaje y posterior utilización de la información. El estudiante tiene que ser consciente de que la información almacenada puede ser seleccionada deliberadamente, en un momento posterior, para resolver las tareas que se le presenten. Posteriormente el autor se pregunta sobre la posibilidad de enseñar a los alumnos a utilizar los componentes cognitivos de los que disponen con el fin de ayudarles a mejorar sus habilidades en los procedimientos para resolver problemas de forma eficaz.

Otra aportación interesante, desde una perspectiva más próxima a la educación es la realizada por Novak y Gowin en su libro "*Aprendiendo a aprender*". Los autores definen el **metaaprendizaje** como el aprendizaje relativo a la naturaleza misma del aprendizaje apuntando una idea de claras implicaciones educativas:

"Las mejores estrategias de metaaprendizaje deberían acompañarse de estrategias para ayudar a aprender sobre el metaconocimiento. Metaaprendizaje y metaconocimiento, aunque interconectados, son dos cuerpos diferentes de conocimiento que caracterizan el entendimiento humano. El aprender sobre la naturaleza y la estructura del conocimiento ayuda a los estudiantes a entender cómo se aprende, y el conocimiento sobre el aprendizaje nos sirve para mostrarles cómo construyen el nuevo conocimiento los seres humanos" (Novak y Gowin, 1988 p 28).

En nuestro país se han hecho aportaciones muy interesantes en la línea que estamos describiendo. Así A. Moreno (1989), ha puesto de manifiesto la necesidad de considerar el aprendizaje como una actividad estratégica, planificada

y controlada por la persona que la realiza. Insiste la autora en que la necesidad de tomar conciencia de los objetivos del aprendizaje y de los medios que utilizamos para conseguirlos, implica una actividad **metacognitiva** por parte del que aprende. Con relación al trabajo de investigación cuya memoria presentamos, hay que resaltar la opinión de A. Moreno sobre la importancia que tiene para el aprendizaje que los estudiantes se hagan conscientes de sus intenciones, de sus capacidades y de las demandas que les presentan las tareas escolares.

En referencia a las variables relacionadas con la tarea, destaca principalmente tres tipos:

-Objetivos de la tarea: es importante discernir por parte del alumno cuales son los objetivos concretos de una tarea pues ello va a favorecer la elección de la estrategia más adecuada de cara a su resolución.

-Grado de dificultad: los alumnos deben hacerse conscientes del nivel de dificultad y sobre todo, de los obstáculos más relevantes con los que se van a encontrar cuando vayan a realizar un trabajo concreto. Sólo con la toma de conciencia de cuáles son los puntos conflictivos podrán dilucidar cuales van a ser las estrategias más adecuadas para superarlos.

-Familiarización con la tarea: hay un consenso generalizado sobre el hecho de que los procesos de razonamiento están unidos a un contexto específico.

Una cuestión relacionada íntimamente con el proceso de aprendizaje de las **habilidades metacognitivas** es, si este tipo de habilidades hay que enseñarlas explícitamente desde el comienzo de la escolarización y en el contexto de cada materia concreta, formando por tanto parte esencial de su desarrollo. Sobre este

punto concreto J.I. Pozo (1989) hace una aportación muy clarificadora acerca del lugar de las estrategias de metaaprendizaje en el curriculum. En lo que respecta al *cuando*, el autor apoya la idea de que lo relevante no sería la edad concreta a que se trabajan este tipo de estrategias sino la secuencia establecida tanto en lo referente a la planificación general como a las tareas necesarias para la adquisición de una determinada estrategia. En lo que respecta al *donde*, la pregunta planteada ha sido: ¿Las estrategias de aprendizaje, una materia aparte o una parte de cada materia? Para contestar citaremos textualmente al autor:

"Es imposible aprender a aprender de un modo general, al margen de los contenidos concretos sobre los que se ha de aprender. Las habilidades de pensamiento y aprendizaje no son ajenos al contenido, sino que dependen del área en la que se aplique"
(Pozo, 1989, p 11).

En la línea que hemos desarrollado, referente a favorecer en los sujetos estrategias de metaaprendizaje, y en el sentido apuntado de hacerles conscientes de lo que están haciendo y de cuales son sus dificultades en la tarea que estaban llevando a cabo (resolución de problemas de enunciado abierto), hemos realizado a un grupo de estudiantes una entrevista de tipo semiestructurado alrededor de los siguientes puntos:

- i) Planificación que realiza el alumno cuando se enfrenta a un problema abierto.**
- ii) Estrategias que sigue para la resolución.**
- iii) Puntos clave de mayor dificultad.**

iv) Circunstancias en que la tarea se ha dado por terminada.

v) Aspectos afectivos y motivacionales.

Como se desprende fácilmente de la observación del protocolo de la entrevista, además de la intención de propiciar aspectos relativos a la metacognición en los estudiantes, el profesor-investigador estaba interesado en recoger información acerca de los obstáculos más relevantes detectados en el proceso de entrenamiento sobre metodología de resolución de problemas. La entrevista iba a permitirle también profundizar en aspectos actitudinales de suma importancia en este tipo de planteamientos.

Las entrevistas se realizaron en base a las pautas de trabajo que sobre este tipo de instrumentos, aplicados al ámbito escolar, han aportado numerosos autores en el sentido de crear un ambiente adecuado y tener oportunidad de explorar la coherencia y consistencia de las respuestas de los estudiantes (Osborne y Freyberg, 1985; Latorre y González, 1987; Woods, 1987). La realización tuvo lugar aproximadamente, en la mitad de la experimentación a fin de poner en marcha, a la luz de los resultados obtenidos, los correspondientes procesos de retroalimentación.

Dentro del grupo experimental, se escogieron 18 alumnos de acuerdo con su estilo cognitivo dependencia-independencia de campo. La mitad de los estudiantes podíamos considerarlos en el extremo dependiente de campo y la otra mitad en el extremo opuesto ya que, de acuerdo con nuestras hipótesis de partida, el comportamiento de ambos grupos iba a ser diferente a la hora de realizar determinadas tareas, siendo éste uno de los puntos que queríamos explorar, además de los citados anteriormente, mediante la utilización de las entrevistas.

El análisis de las entrevistas para determinar las dificultades más relevantes así como, las posibles diferencias dependiendo del estilo cognitivo de los estudiantes, se presenta en el Apartado 7.5 en que aparecen los resultados correspondientes a la evaluación del trabajo realizado dentro del aula.

6.4.6. TECNICAS DE ANALISIS DE LOS DATOS

En el trabajo que ahora presentamos hemos utilizado técnicas de tratamientos de datos de las denominadas **cualitativas** y técnicas de tipo más **cuantitativo** de acuerdo con la aportación teórica que hemos abordado en el Apartado 6.4.1, donde señalábamos la **compatibilidad** y la **complementariedad** de ambos métodos. Vamos a realizar ahora un resumen de todas ellas justificando las razones de su elección.

A lo largo del **Capítulo 7** presentaremos el proceso llevado a cabo en el contexto del aula, con los alumnos pertenecientes al grupo experimental. Dentro de las estrategias de trabajo utilizadas con estos estudiantes, y tal como hemos descrito en el Apartado 6.4.2, procedimos a realizar **entrevistas** recogiendo la aportaciones de los alumnos, previamente **grabadas en audio**, mediante las llamadas **redes sistémicas o network** (Bliss el al.,1983). Esta técnica esta enmarcada en los denominados métodos cualitativos de análisis de datos y los aspectos más relevantes de la misma se presentan en el Apartado 7.5.1 donde aparecen las dos redes construidas a partir de las respuestas de los estudiantes.

También en el **Capítulo 7**, y en el apartado correspondiente a la evolución experimentada por los alumnos en su capacidad para resolver problemas, hemos

realizado **análisis descriptivos** de los resultados obtenidos mediante la utilización de **tablas de frecuencias, representaciones gráficas**, etc, realizando estos análisis a partir de un conjunto de variables -contenido y metodológicas- definidas al respecto.

Por último, para realizar el estudio de **actitudes**, hemos empleado un **cuestionario de lápiz y papel** cuyos datos se han recogido utilizando **diferenciales semánticos** con justificación de respuesta, lo que nos ha permitido realizar un **análisis de contenido**.

El tratamiento de datos realizado para contrastar las hipótesis planteadas en esta investigación, presentado en el **Capítulo 8**, ha tenido un matiz más cuantitativo que el utilizado para valorar los resultados que hemos comentado en los párrafos anteriores.

Para la contrastación de las **Hipótesis 1 y 2**, las respuestas sobre los esquemas conceptuales de los estudiantes se han categorizado en los tres niveles ya descritos, definiéndose así, una escala de **tipo ordinal o de rangos** para este tipo de datos. En consonancia con este nivel de medida, se han utilizado **pruebas estadísticas no paramétricas** (Siegel, 1979).

- En la contrastación de la **Hipótesis 1**, para estudiar las correlaciones entre las variables relacionadas con el cambio conceptual dentro del grupo experimental, se ha empleado el **coeficiente de correlación de rangos de Kendall**, calculando la probabilidad asociada a fin de determinar el nivel de significación observado.

En cuanto a los estudios encaminados a contrastar si se han producido diferencias significativas dentro del grupo, como consecuencia del tratamiento efectuado, se ha utilizado la **prueba de rangos señalados y pares igualados de Wilcoxon** que nos va a dar, no solamente la dirección de las diferencias, sino la magnitud de las mismas. Esta prueba nos va a permitir rechazar la hipótesis nula con el grado de significatividad que se estime previamente.

- Para contrastar la **Hipótesis 2**, relativa a determinar diferencias significativas con el grupo control, se ha utilizado la **prueba U de Mann-Whitney**, estadístico muy potente para probar si dos grupos independientes han sido tomados de la misma población. La potencia de esta prueba es similar a la de Wilcoxon arriba mencionada.

El tratamiento de datos utilizando las pruebas mencionadas hasta ahora, se han realizado con el programa **STATVIEW GRAFHICS** (Appel,1991), trabajando, en el análisis de resultados con un nivel de significatividad del 1%.

El panorama se presentaba distinto en lo relativo a las **Hipótesis 3 y 4** de la investigación. Su carácter *no direccional*, debido a la falta de resultados coincidentes en los estudios realizados al respecto, como ya se comentó en el Apartado 6.2, ha orientado nuestro trabajo hacia la búsqueda de **asociaciones entre las variables categóricas** definidas en el estudio realizado, de tal forma que, estas asociaciones, nos permitan establecer no sólo posibles relaciones, sino la dirección en que se producen.

Por otra parte, para poder valorar las contestaciones de los estudiantes a los problemas de enunciado abierto, hemos definido un conjunto de **variables** caracterizadas por la naturaleza de la tarea a realizar (ver Apartado 7.5). Las

categorías para estas variables constituyen una escala de **tipo ordinal**, similar a las escalas de valoración del test GEFT y del test de Longeot, tal como quedaron definidas en el diseño de la investigación.

● Para proceder a la contrastación de las **Hipótesis 3 y 4**, se ha realizado un **análisis de correspondencias múltiple**, técnica de análisis de datos cualitativos que presenta una gran calidad descriptiva, permitiendo **explicar muchas categorías de variables en unos pocos factores**. El tipo de análisis ha sido muy empleado por la escuela francesa de tratamiento de datos (Benzecri, 1973, Lebart et al. 1985), y en nuestro país, en los últimos años, esta técnica ha empezado a ser utilizada con frecuencia en investigaciones educativas siendo muy útil para casos de situaciones multivariantes categóricas como las que aparecen en el estudio que estamos presentando (Carballo, 1990, Medina, 1989).

El análisis de correspondencias múltiples constituye una generalización del análisis factorial de correspondencias, muy apropiado cuando el número de categorías es superior a dos, requiriendo como entrada mínima, datos recogidos en escalas nominales. Este procedimiento de trabajo permite **el estudio de relaciones de dependencia entre variables categóricas** presentadas en forma de tablas de contingencia, permitiendo además:

- Analizar como está estructurada esta asociación, describiendo "proximidades" que se interpretan como asociación o afinidad.
- Reestructurar la información obtenida, reformulándola de forma tal, que puede representarse en un espacio reducido con mínima pérdida de la misma.

- Debido a que es una técnica factorial, se pueden presentar los resultados en forma gráfica, ayudando este procedimiento, a la interpretación de los mismos.

Los análisis se han llevado a cabo mediante el programa **BMDP Statistical Software** en su modalidad **CA-CORRESPONDENCE ANALYSIS**, versión de 1990.

PARTE III

DESARROLLO DE LA INVESTIGACION Y RESULTADOS

CAPITULO 7

LA RESOLUCION DE PROBLEMAS DE ENUNCIADO ABIERTO. METODOLOGIA DE TRABAJO EN EL AULA

7.1. ANALISIS CUALITATIVO DE LA SITUACION

En el **Capítulo 1** describimos con detalle el hecho de que la resolución de problemas de Física, con la didáctica habitual utilizada en nuestras aulas, presenta un alto nivel de fracaso atribuyéndose una parte importante de éste, a la metodología empleada en su enseñanza. Con la intención de buscar soluciones, diversos investigadores han propuesto metodologías alternativas tales como **la resolución de problemas de lápiz y papel de enunciado abierto como actividad de investigación** diseñada por el equipo de Daniel Gil y que ha sido utilizada en nuestro estudio. Una descripción detallada del modelo y las razones que nos han llevado a su elección se presentaron en el Apartado 1.4.

El problema de entrenar a los alumnos para familiarizarles con el modelo de resolución, se ha planteado como un "**problema abierto**" y por lo tanto, nos propusimos abordarlo haciendo uso de estrategias similares a las empleadas por los alumnos. En consecuencia, este capítulo en donde vamos a describir el trabajo realizado con los estudiantes, está estructurado en cinco apartados que recuerdan, en términos generales, las fases de trabajo del modelo empleado dentro del aula. De acuerdo con este planteamiento, en el apartado siguiente vamos a presentar los supuestos, que a modo de *hipótesis de trabajo*, sirvieron para abordar el entrenamiento de los estudiantes en el aula, apareciendo todo lo referente a la evaluación del proceso, entendida como un *análisis de resultados*, en el Apartado 7.5.

En relación también a la resolución de problemas nos habíamos propuesto estudiar **la interacción que, sobre este proceso, van a tener las diferencias individuales** que desde un punto de vista cognitivo presentan los estudiantes (**Hipótesis 4** de la investigación). Los resultados correspondientes a la contrastación de la citada hipótesis aparecen en el apartado correspondiente del **Capítulo 8**.

7.2. SUPUESTOS PREVIOS DEL MODELO DE TRABAJO.

La resolución de problemas de enunciado abierto necesita que el resolvente ponga en acción pensamiento de tipo productivo y como consecuencia, el entrenamiento con este tipo de metodologías va a favorecer en los sujetos la puesta en marcha de **estrategias investigativas**. Con este planteamiento pueden superarse las técnicas de pensamiento reproductivo usualmente utilizadas para resolver problemas-ejercicio en los que el alumno se limita a aplicar -no sin dificultad en muchos casos- algoritmos de resolución. Estas estrategias van a manifestarse en las aportaciones realizadas por los alumnos (tanto en forma individual como grupal) que, enfrentados a una situación abierta con un alto nivel de incertidumbre, buscarán diferentes caminos de solución basados en la adquisición de nuevos conocimientos o en el establecimiento de relaciones entre los que ya tienen disponibles.

La "puesta en escena" del modelo de trabajo ha estado basada en los siguientes supuestos que hemos intentado comprobar a lo largo de la investigación:

1) Una metodología de resolución de problemas de tipo investigativo, como la propuesta en este estudio, va a conseguir una evolución positiva en la capacidad de resolver problemas por parte de los alumnos. Asumidas una serie de pautas de procedimiento en un campo concreto de la Ciencia -nosotros hemos comenzado el entrenamiento en el área de la **Mecánica**- es posible transferirlos sin grandes dificultades a otras áreas de conocimiento -en nuestro

caso la **Electricidad**- siempre y cuando los sujetos posean un nivel de conocimiento conceptual adecuado. Tras un pequeño período de entrenamiento en el nuevo campo, se producirá un progreso relevante.

2) En cuanto a las actitudes de los alumnos frente a la tarea que están realizando, estas tienen una importancia fundamental en el proceso de aprendizaje. En nuestra opinión, un entrenamiento como el realizado por la muestra objeto de la investigación **va a promover en los alumnos una actitud positiva hacia el aprendizaje de las Ciencias en general y hacia la resolución de problemas en particular, entendida ésta como finalidad fundamental del aprendizaje citado**. El papel jugado por el profesor en este proceso es fundamental para favorecer un cambio actitudinal en los estudiantes. Una explicación fundamentada sobre la influencia de las actitudes se presentó en el Apartado 6.4.4 , dentro del diseño de la investigación.

7.3. ELABORACION DE ESTRATEGIAS

A partir del planteamiento cualitativo que hemos descrito tuvimos que tomar decisiones sobre que estrategias, entendidas éstas como construcciones tentativas, nos iban a conducir a la **resolución del problema** que deseábamos abordar.

Las estrategias que hay que emplear en un problema de alto nivel de complejidad como el que teníamos planteado -entrenar a los estudiantes para conseguir que resuelvan **problemas de enunciado abierto**- exigen una gran dosis de imaginación y un proceso de ensayos sucesivos donde **la realimentación** juega un papel decisivo. En consecuencia con la tarea que se pretende, las estrategias hay que plantearlas de forma **abierto** donde, por aproximaciones sucesivas, vayamos refinando el procedimiento.

A lo largo del proceso seguido con los estudiantes se ha trabajado a dos niveles que iban a aportar informaciones complementarias:

- En el contexto del aula, se ha entrenado a los alumnos en el modelo de resolución de problemas propuesto, evaluando consecuentemente, la marcha del proceso.
- Se han realizado, fuera del aula, entrevistas individuales encaminadas a detectar las dificultades que iban apareciendo favoreciendo al mismo tiempo, en los estudiantes, estrategias de metaaprendizaje.

A continuación, vamos a abordar por separado estos niveles de actuación.

7.3.1. METODOLOGIA DE TRABAJO EN EL AULA

Como ya hemos comentado a lo largo de esta memoria, la investigación se ha llevado a cabo con un grupo de alumnos de **3º BUP**, dentro de unos programas concretos de la asignatura de **Física**, lo cual nos ha impuesto una serie inevitable de exigencias curriculares. En este sentido, el trabajo en el aula comenzó por abordar, a nivel teórico, una serie de conceptos y sus interrelaciones los cuales, constituyeron el entramado necesario para poder plantear **la resolución de problemas**. Tal como apuntábamos en el capítulo anterior, la cantidad de principios teóricos que son necesarios para abordar un programa como el impartido en **3º BUP** es bastante restringido; lo importante es que el alumno asuma que son realmente **principios y por lo tanto, de aplicación general a diferentes situaciones**.

Una perspectiva que hemos tenido presente en todo el proceso de trabajo en el aula, es que cualquier aprendizaje tiene lugar en un contexto social determinado. En el caso concreto del aprendizaje escolar, este contexto está marcado por las relaciones profesor-alumno y alumno-alumno. La importancia de la primera de estas relaciones está claramente asumida por la mayoría de los profesores siendo más dudosa la aceptación de la segunda a pesar de que numerosas investigaciones han puesto de manifiesto que:

"la organización cooperativa de las actividades de aprendizaje, comparada con organizaciones de tipo competitivo e individualista

es netamente superior en lo que concierne al nivel de rendimiento y de productividad de los participantes" (Coll, 1984 p 123).

En este sentido, aceptamos la hipótesis del **conflicto sociocognitivo** defendida por Perret-Clement (1981), según la cual se produce una mejora en el aprendizaje mediante la interacción entre iguales que pueden confrontar sus puntos de vista parcialmente divergentes acerca de la tarea que se les propone, siendo esta mejora mayor si el trabajo en grupo va acompañado de la necesidad de comunicar la respuesta al resto de los compañeros. El conflicto se concibe en este marco como el resultado de la confrontación entre esquemas de sujetos diferentes producido en el transcurso de la interacción social.

La metodología de trabajo que se ha desarrollado dentro del aula, está basada en la teoría constructivista del aprendizaje ya descrita en esta memoria y la secuencia didáctica seguida ha tenido cierta similitud con la propuesta por Cosgrove y Osborne (1984), constituida fundamentalmente por las siguientes fases (ver Figura 2.5) :

- 1. Fase preliminar**
- 2. Fase de enfoque**
- 3. Fase de confrontación**
- 4. Fase de aplicación**

En dicha secuencia los autores introducían la resolución de problemas como una actividad correspondiente a la **fase de aplicación** de los nuevos conceptos aprendidos. En nuestra opinión, se puede plantear la **resolución de problemas abiertos** como el objetivo general a conseguir utilizando para su consecución todas o algunas de las fases que los citados autores nos proponen.

De acuerdo con este planteamiento vamos a describir el contenido de cada una de las etapas realizadas:

- **Fase preliminar:** El tratamiento comienza con el planteamiento de un problema de enunciado abierto para que los alumnos lo resuelvan trabajando en pequeños grupos. Como era de esperar las aportaciones se producen dispersas y no se consiguen avances importantes. Esta actividad tiene como finalidad no explícita, que los alumnos se hagan conscientes de sus propias limitaciones cuando se encuentran un problema de estas características para cuya resolución no tienen las herramientas adecuadas. Otra finalidad de esta fase es proporcionar un contexto para el trabajo posterior.
- **Fase de enfoque:** Una vez creado el ambiente necesario el profesor puede presentar un plan de actuación ante un problema de enunciado abierto. Este plan se puede concretar en las siguientes pautas de trabajo presentadas y justificadas con detalle en el Apartado 1.4, cuando describimos el modelo utilizado (Gil y Martínez-Torregrosa, 1983, 1987).

1. **Análisis cualitativo del problema**
2. **Emisión de hipótesis**
3. **Elaboración de estrategias**
4. **Resolución del problema**
5. **Análisis de resultados**

Antes de pasar a describir las diferentes etapas que se proponen, hay que señalar que estas pautas constituyen unas orientaciones de tipo directivo pero no normativo. En este sentido, el estudiante tiene que verlas como una organización flexible para realizar su trabajo y no como unas pautas rígidas de actuación.

Las dos primeras etapas podemos englobarlas en lo que podríamos llamar la **representación** del problema. En la primera los alumnos tienen que entrenarse en dos tipos de actividades:

- **Representación y comprensión de la situación.**
- **Restricción de las condiciones.**

Estos pasos les van a conducir a tener una representación del problema y una percepción de su significado y como consecuencia, los estudiantes están en condiciones de proceder a emitir algún tipo de hipótesis que permitan:

- **Explicitar las ideas previas de los estudiantes aplicadas a un caso concreto.**
- **Determinar cuál es la magnitud o magnitudes buscadas.**
- **Emitir hipótesis acerca de los factores que pueden determinar esta magnitud.**
- **Abordar situaciones límite de fácil interpretación física.**
- **Determinar los datos necesarios para la solución del problema.**

A continuación se puede reformular el problema de una forma adecuada de cara a su **resolución** para lo cual hay que proceder a tomar decisiones sobre las siguientes actividades:

- **Selección de posibles estrategias a utilizar.**
- **Análisis del problema por partes o resolución en primer lugar de casos más simples.**
- **Establecimiento de posibles analogías con situaciones tratadas anteriormente.**

- **Marco teórico en el cual se va a resolver el problema.**

Durante el proceso es necesario que los alumnos verbalicen las operaciones que van realizando lo que les va a facilitar revisiones críticas y consecuentemente el diagnóstico de errores. Es importante entrenarles para que trabajen con letras antes de proceder a cálculos numéricos haciendo, siempre que se pueda, representaciones gráficas de los resultados.

Por último, el **análisis de los resultados** va a permitir:

- **Averiguar si la visión cualitativa es correcta.**
- **Comprobar si la estrategia utilizada es la adecuada.**
- **Estudiar si el resultado es coherente con las hipótesis realizadas y con el marco teórico utilizado. El resultado debe contemplar también las situaciones límites.**

Una vez realizado el análisis, los estudiantes están en condiciones de elaborar conclusiones y realizar aplicaciones numéricas que también deben ser analizadas: comprobación de unidades, orden de magnitud del resultado.

Es muy importante que el alumno comprenda con claridad lo que se le está proponiendo y una manera efectiva de conseguirlo es ir aplicando cada una de las etapas descritas al problema concreto que se había planteado en la **fase preliminar**. De esta forma se creará un nexo teoría-práctica imprescindible para la consecución de un aprendizaje significativo.

- **Fase de confrontación y aplicación:** En este punto los alumnos ya empiezan a estar en condiciones de resolver el tipo de tarea que les proponemos.

El profesor irá presentando diferentes problemas que, sometidos a discusión en pequeño grupo, pueden pasarse a debate general siguiendo una serie de pautas que consideramos imprescindibles:

- Para cada una de las situaciones problemáticas que se van planteando, partir de lo que los alumnos piensan al respecto.
- Dejar el tiempo necesario para que los estudiantes, conscientes de sus propuestas, perciban si éstas conducen o no a resultados satisfactorios entrando en confrontación, al mismo tiempo, con las propuestas de sus compañeros.
- En este momento el profesor puede aportar sus puntos de vista, siempre planteados a modo de hipótesis, para proteger la situación de conflicto fundamental en este tipo de metodología.
- Partiendo de la confrontación surgida se puede avanzar hacia la resolución del problema procurando, en la medida de lo posible, llegar a soluciones generales con alto contenido físico. El análisis de estas soluciones es un momento fundamental para cuestionar el resultado obtenido a la luz de las hipótesis emitidas y de los conocimientos teóricos empleados.
- Si el análisis no resulta satisfactorio hay que retomar el problema revisando cada uno de los pasos que se han dado. Para la realización de esta revisión es fundamental que **todo el proceso haya sido suficientemente verbalizado** y por lo tanto alejado de tratamientos puramente operativos difíciles de analizar.

- Para terminar, indicar que la resolución de un problema, lo mismo que ocurre en el campo de la investigación científica, va a ser origen de nuevos problemas que quedan planteados y pendientes de solución.

En el Apartado 7.4, se presenta la resolución detallada de dos problemas, uno de **Mecánica** y otro de **Electricidad**, donde se puede apreciar, para estos casos concretos, como se van cubriendo las etapas propuestas en el modelo de trabajo que hemos descrito. También aparecen allí los enunciados de los problemas utilizados a lo largo del tiempo que ha durado la experimentación con la finalidad de abordar los contenidos curriculares correspondientes al programa de **Física de 3º BUP**.

7.3.2. LA ENTREVISTA COMO INSTRUMENTO PARA FAVORECER EL METAAPRENDIZAJE

A lo largo de toda la experimentación se ha utilizado la entrevista tanto para hacer un seguimiento de los estudiantes, como para favorecer en ellos estrategias de metaaprendizaje en el sentido que comentábamos en el capítulo anterior.

De acuerdo con nuestras hipótesis de partida el avance en el aprendizaje se va produciendo lentamente y de forma heterogénea. Sin duda, la observación de los alumnos que progresan con menos éxito puede dar mucha información al profesor y en este sentido es imprescindible hacer un seguimiento detallado de aquellos que tienen dificultades: *"Para mejorar la instrucción es necesario seguir*

la pista de las causas subyacentes a las dificultades: deficiencias y errores en el proceso de pensamiento" (Kramers-Pal y Pilot, 1988).

La estrategia para hacer este seguimiento ha sido la siguiente: el profesor-investigador tuvo que estudiar las producciones de los alumnos que presentan deficiencias en su aprendizaje utilizando para ello dos mecanismos de toma de datos:

- Recoger los problemas que de forma individual iban realizando los alumnos.
- Anotar en el diario de clase las intervenciones más relevantes de determinados alumnos, ya sea en pequeño o en gran grupo.

Un análisis global de toda la información permitió detectar que se producían coincidencias (podíamos denominarlas **pautas de error**) con lo que se pudieron organizar pequeños grupos de alumnos donde un obstáculo común era relevante; a partir de estos datos se plantearon entrevistas donde se discutían estos puntos concretos. En ocasiones, este tipo de entrevistas llegaron a ser individuales siendo ésta una ocasión ideal para profundizar en el pensamiento de los alumnos. Un estudio paralelo de como van avanzando los estudiantes más aventajados produjo una información complementaria de gran utilidad para comprender la complejidad del proceso de aprendizaje.

Estos procesos de realimentación inmediata (uno o dos días como máximo de realizada la tarea) tienen un efecto muy positivo sobre el aprendizaje, no solo por lo que hemos comentado desde el punto de vista de superar obstáculos, sino también por los aspectos motivacionales: el alumno se siente protagonista y objeto

directo de la atención del profesor constituyendo esta situación un estímulo para su trabajo.

La capacidad de las entrevistas como técnica de investigación no se consideró agotada con el empleo que hemos descrito. Como avanzamos al principio del apartado, se realizó también un diseño encaminado a utilizar este instrumento para potenciar en los estudiantes estrategias de metaaprendizaje en el sentido apuntado en el **Capítulo 6** donde presentamos los ejes y la finalidad de estas entrevistas, (ver Apartado 6.4.5).

Desde el punto de vista de la investigación realizada, el análisis de las entrevistas nos iba a "iluminar" de forma minuciosa sobre lo que estaba ocurriendo y como ya comentaremos en la presentación de resultados que aparece en el Apartado 7.5.1 de este capítulo, el empleo de esta técnica ha resultado altamente satisfactorio.

7.4. ENTRENAMIENTO EN LA RESOLUCION DE PROBLEMAS DE ENUNCIADO ABIERTO.

Tal como vamos describiendo el proceso que se ha realizado, una vez elaboradas las estrategias de trabajo que se van a seguir, ha sido entrar en la resolución de nuestro "problema". A continuación presentamos dos problemas, uno de Mecánica y otro de Electricidad, tal como se han resuelto dentro de la clase e incorporando por tanto, las ideas que los estudiantes han explicitado en cada uno de los apartados.

7.4.1. DESCRIPCION DEL MODELO DE RESOLUCION

MECANICA. El problema escogido dentro de esta área ha sido:

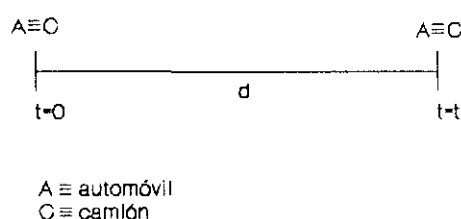
Cuando un automóvil arranca es sobrepasado por un camión ¿dónde volverá a alcanzarlo?

1. Análisis del problema

Es un problema de dos móviles que en un momento determinado coinciden en el tiempo y en el espacio (condiciones iniciales del problema). Se mueven en

la misma dirección y el mismo sentido y queremos calcular cuando volverán a coincidir.

La restricción de condiciones lleva a considerar la carretera recta y sin pendiente, pudiéndose luego resolver el problema suponiendo que la carretera tuviera cierta inclinación. Se va a suponer también que los dos móviles llevan movimiento con aceleración constante. Un esquema del problema sería el siguiente:



2. Emisión de hipótesis

La distancia recorrida, contada a partir del punto donde coinciden inicialmente, en el momento en que vuelvan a coincidir va a depender de la velocidad que lleve el camión en el momento de sobrepasar al coche y de las aceleraciones de ambos móviles. Los estudiantes anticipan sin dificultad que esta distancia va a depender directamente de los parámetros característicos del camión: a mayor velocidad y mayor aceleración mayor será la distancia necesaria para que se produzca el alcance, e inversamente para el caso de la aceleración del coche: a mayor aceleración del coche menor será la distancia recorrida. También se puede avanzar que si la aceleración del coche va a ser igual o menor que la del camión nunca se producirá el alcance.

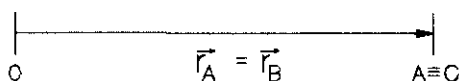
En el límite si la aceleración del camión tiende a ∞ la distancia tenderá también a ∞ y si es la del automóvil la que tiende a ∞ , la distancia tenderá a cero.

Algunos estudiantes estiman que la masa va a influir en los resultados de tal forma que a mayor masa de los móviles la distancia recorrida va a ser más elevada.

3. Estrategias de resolución

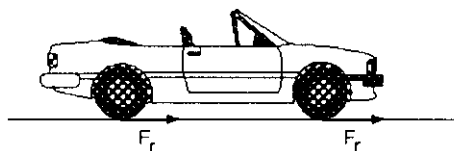
Para resolver el problema hay que dibujar los móviles con todas las fuerzas aplicadas, comprobar en que condiciones pueden llevar movimiento uniformemente acelerado y escribir las ecuaciones de cada uno de los móviles teniendo en cuenta las condiciones iniciales.

La condición del problema exige que en el momento del alcance los dos móviles tengan el mismo vector de posición respecto del punto que se ha tomado como origen de coordenadas, siendo $|\vec{r}_a| = |\vec{r}_c| = d$ tal como se aprecia en el siguiente esquema:



4. Resolución del problema

La resolución de este problema es un buen momento para comentar que este tipo de móviles pueden avanzar debido al **principio de acción y reacción**. La fuerza del motor hace que las ruedas comiencen a girar y ejerzan una fuerza sobre el suelo debido al rozamiento. Por el tercer principio el suelo hace una fuerza sobre las ruedas que permiten avanzar al móvil. El papel que juega la carretera en el movimiento de los coches es de difícil comprensión debiendo insistir en el hecho de que si el coche estuviera suspendido en el aire, no avanzaría aunque las ruedas girasen y que una cosa parecida ocurre cuando los coches patinan por ejemplo por la presencia del hielo. También hay que poner de manifiesto que la fuerza peso del coche queda equilibrada por la que realiza el suelo sobre él.



Si admitimos que tanto el coche como el camión van con movimiento uniformemente acelerado las ecuaciones respectivas serían: (tomando el eje X en la dirección del movimiento)

$$x_c = v_0 t + \frac{1}{2} a_c t^2$$

$$x_A = \frac{1}{2} a_A t^2$$

(v_0 es la velocidad inicial del camión)

cuando se encuentran:

$$x_c = x_A = d$$

$$v_0 t_d + \frac{1}{2} a_c t_d^2 = \frac{1}{2} a_A t_d^2$$

y de aquí podemos despejar el tiempo que ha transcurrido cuando coincidan:

$$t_d = \frac{2v_0}{a_A - a_C}$$

y sustituyendo resulta para la distancia recorrida:

$$d = \frac{1}{2} a_A \left(\frac{2v_0}{a_A - a_C} \right)^2 = 2v_0^2 \frac{a_A^2}{(a_A - a_C)^2}$$

5. Análisis de resultados

Los resultados se pueden analizar a la luz de las hipótesis emitidas: evidentemente d es directamente proporcional a la velocidad inicial del camión elevada al cuadrado. En cuanto a la aceleración: si a aumenta, el denominador disminuye y consecuentemente la distancia aumenta también.

Para ver la dependencia con la aceleración del automóvil es mejor escribir el resultado de la siguiente forma:

$$d = 2v_0^2 \left(\frac{1}{1 - \frac{a_C}{a_A}} \right)^2$$

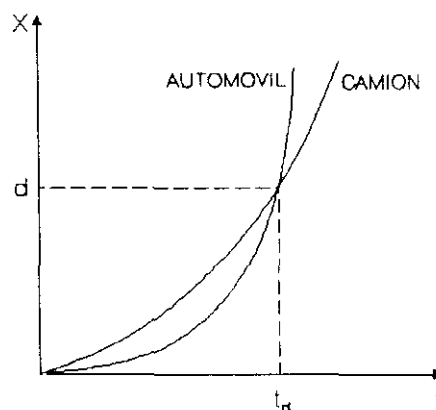
En esta expresión se observa que si a_A aumenta, el denominador aumenta y por lo tanto la distancia recorrida se hará menor. Con a_C ocurre lo contrario como habíamos avanzado en las hipótesis.

También se pueden analizar los resultados sobre el tiempo que transcurre hasta que se encuentran

$$t = \frac{2v_0}{a_A - a_C}$$

Aquí se puede comprobar fácilmente las condiciones límite: si $a_A = a_C$ el tiempo sale ∞ : no se producirá el alcance; si $a_C > a_A$ el tiempo no está definido y tampoco habrá alcance.

El problema admite también una representación gráfica que, admitiendo que se produzca alcance, quedaría como se observa



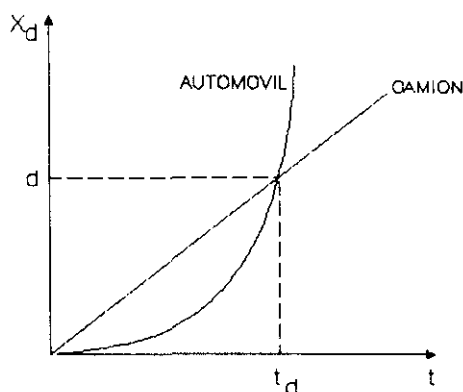
Un caso más simple y de fácil estudio se produciría si el camión va a velocidad constante. Los resultados en este caso se pueden deducir de los anteriores haciendo $a_C = 0$ con lo que obtendríamos:

$$t_d = \frac{2v_C}{a_A} \quad \text{siendo } v_C \text{ la velocidad constante del camión}$$

y para la distancia:

$$d = \frac{1}{2} \frac{(2v_C)^2}{a_A} = \frac{2v_C^2}{a_A}$$

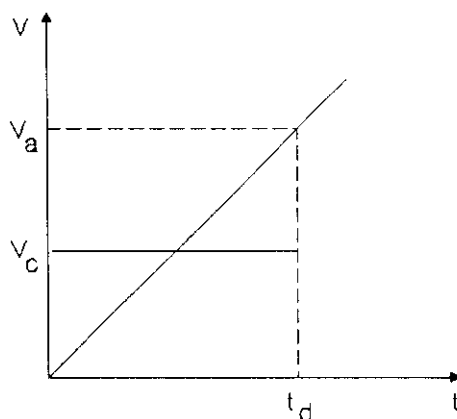
siendo la representación gráfica en este caso la siguiente:



También es interesante observar que si $v_C = \text{constante}$, como $v_A = a_A t$ cuando se encuentran $t = \frac{2v_C}{a_A}$ y sustituyendo:

$$v_A = 2v_C$$

es decir, la velocidad del automóvil en el momento de alcanzar al camión es el doble que la velocidad de éste para cualquier valor de la velocidad del camión. Gráficamente este resultado sería:



Es interesante resaltar que la masa no aparece en los resultados en contra de la hipótesis a avanzada por algunos estudiantes.

Una vez analizado el problema se puede estudiar algún caso que se aproxime a la realidad. Por ejemplo ¿Qué distancia recorrerá un coche que arranca cuando le adelanta un camión que marcha a la velocidad constante de 54 Km/hora antes de sobrepasarlo?

Teniendo en cuenta que un coche puede coger los 100 km/hora en aproximadamente 15 s, la aceleración sería:

$$a_A = \frac{100 \text{ km/h}}{155} \approx 1,8 \text{ m/s}^2$$

y suponiendo que la mantuviera constante, alcanzaría al camión en una distancia:

$$d = 2 \cdot \frac{1,5^2}{1,8} = 250 \text{ m}$$

y la velocidad que llevaría el coche en ese momento sería:

$$v_A = 30 \text{ m/s} = 108 \text{ km/h}$$

el doble que la del camión.

Un problema similar a este podría ser ¿Cuánto tiempo tardará un coche de policía en alcanzar a una moto que persigue?.

ELECTRICIDAD. El problema que hemos seleccionado ha sido:

VAMOS A CONSTRUIR UN "OSCURECEDOR"

¿Qué podemos hacer para disminuir el brillo de una bombilla sin que cambie el de otras bombillas a las cuales está conectada?

1. Análisis cualitativo del problema

El problema planteado es el siguiente: tenemos un conjunto de bombillas conectadas entre sí y queremos montar un dispositivo que permita modificar el brillo de alguna de ellas sin modificar el de las demás.

Este problema requiere hacer unas consideraciones previas: el brillo de una bombilla depende de la intensidad de corriente que pasa por ella cuando se conecta a una diferencia de potencial determinada. Cada bombilla viene caracterizada por su resistencia eléctrica dependiendo ésta de la temperatura que alcance el filamento. Como consecuencia de esta propiedad se plantea la primera restricción al problema con el fin de facilitar su resolución por alumnos de este nivel educativo: considerar que la resistencia permanece constante y por lo tanto va a cumplir la ley de Ohm en todo momento.

Otra restricción importante es considerar el generador ideal, es decir, no considerar su resistencia interna despreciando también la resistencia de los hilos conductores.

Hechas estas consideraciones los estudiantes comienzan a plantear las diferentes posibilidades: las bombillas pueden estar conectadas en serie o en paralelo y la única forma de conseguir un circuito con intensidad variable es introducir en el mismo un reostato o resistencia variable que pueda ir tomando diferentes valores.

2. Emisión de hipótesis

La hipótesis que se plantea en términos generales es la siguiente: si introducimos una resistencia en un circuito, de acuerdo con la ley de Ohm, la intensidad tiende que disminuir si la pila, batería o enchufe, presentan una diferencia de potencial constante y, por lo tanto, las bombillas disminuirán su brillo.

Algunos alumnos argumentan que si el reostato se conecta en paralelo, la resistencia total del circuito va a disminuir y en consecuencia la intensidad que circula va a aumentar: *"en este caso no se puede conseguir oscurecer la bombilla"*. Están generalizando de forma acrítica una idea que hay que estudiar en cada caso concreto.

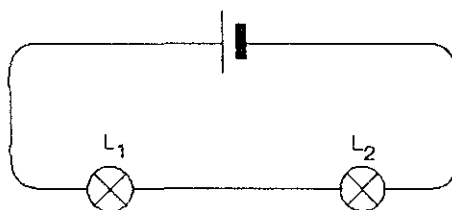
A pesar de las diferentes opciones todos parecen estar de acuerdo en los siguientes casos límite: si el valor del R añadido tiende a cero, todas las bombillas brillarán igual y si $R \rightarrow \infty$, por la rama del circuito en que esté incluido la intensidad valdrá cero y las bombillas allí intercaladas no lucirán.

Es difícil avanzar más en las hipótesis con lo cual se pueden dejar planteadas a este nivel hasta poder proceder a su confirmación.

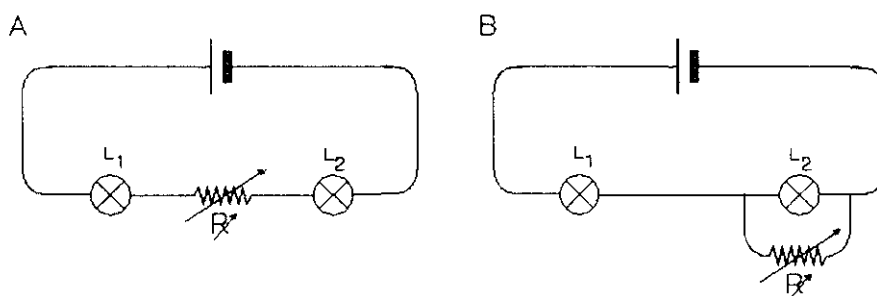
3. Elaboración de estrategias

La estrategia de resolución que se plantea es la siguiente: resolver el problema con dos bombillas conectadas de diferentes formas para luego generalizar el resultado a un conjunto de n bombillas.

Circuito en serie. Dado el montaje siguiente, consideremos que queremos modificar el brillo de L_2 sin que cambie el de L_1 .



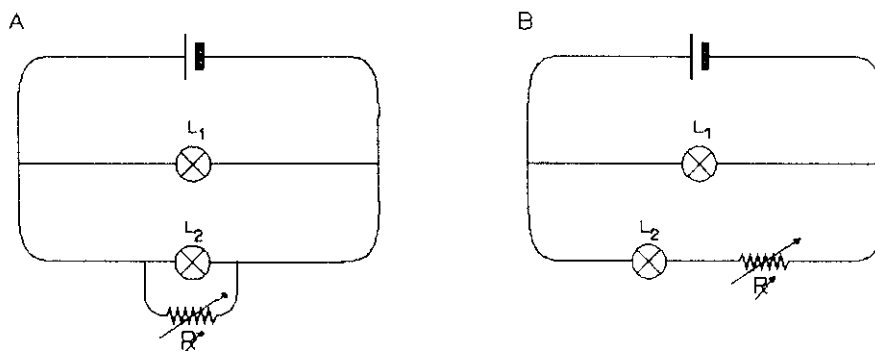
Para conseguir el efecto que deseamos, tenemos dos posibilidades que quedan reflejadas en los circuitos que se presentan a continuación:



Los estudiantes que apoyan el esquema **A** argumentan en el sentido: "si variamos, aumentando, el reostato R , la lámpara L_1 no verá modificado su brillo porque la intensidad ya ha pasado por ella. La disminución de la intensidad solo afectará a L_2 que verá modificado su brillo"

Los que apoyan el montaje **B** argumentan: " Si disminuimos el valor de R , se irá por esta rama mayor intensidad y por lo tanto por L_2 pasará menos y se oscurecerá. Estos cambios no afectarán a L_1 porque está antes". Como se puede observar, detrás de estos argumentos se encuentran claramente **razonamientos secuenciales** (ver Apartado 4.4) en los que se considera que un cambio en un elemento de un circuito solo afecta a los que están "detrás" de él.

Circuitos en paralelo. De nuevo aparecen dos posibilidades según donde coloquemos el reostato tal como se aprecia en los siguientes circuitos:



El argumento en favor del circuito **A** tendría puntos en común con el aportado en el caso anterior: *"una modificación del reostato afectaría solo a L_2 por estar conectado a sus extremos, L_1 no se vería afectada"*

En el circuito **B** variaciones de R afectarían a la intensidad que pasa por L_2 , pero no a la que pasa por L_1 . Hay estudiantes que para resolver el problema utilizan como argumento la conservación del voltaje total en el circuito teniendo en cuenta ya que el generador se considera ideal: *"La d.d.p. en los extremos de L_1 no va a variar por estar conectada a los terminales del generador. Esta d.d.p. en la otra rama tiene que repartirse entre L_2 y R "*

4. Resolución del problema

Circuitos serie

- **Esquema A.** En el circuito inicial con dos bombillas, la intensidad que pasa por ellas sería:

$$i_0 = \frac{V}{R_1 + R_2}$$

si introducimos una resistencia más la intensidad será:

$$i = \frac{V}{R_1 + R_2 + R}$$

y como ésta es la intensidad que pasa por cada una de las bombillas resulta evidente que su brillo se verá modificado. **Cuanto mayor sea el valor del reostato, menor será la intensidad y por lo tanto menor el brillo de cada una de ellas: se oscurecerán las dos.**

- **Esquema B.** Al aumentar el valor del reostato, la resistencia en paralelo aumentará y por lo tanto aumentará la resistencia total y disminuirá la intensidad que pasa por L1, su brillo disminuirá. El voltaje en L1 será menor y por lo tanto el voltaje en L2 aumentará. **Como consecuencia podemos afirmar que al aumentar el valor del reostato cambia el brillo de las dos bombillas.**

Circuitos en paralelo

- **Esquema A.** Inicialmente sin reostato cada una de las bombillas estaba conectada a la pila y por cada una de ellas pasaba la mitad de la intensidad total que si consideramos, para simplificar, las dos bombillas iguales, sería:

$$i_1 = i_2 = \frac{V}{\frac{R}{2}} = \frac{2V}{R}$$

Si introducimos un reostato y hacemos que aumente, la intensidad que pasa por él se hace menor pero la d.d.p. en los extremos de él y de las bombillas permanece constante por estar conectados directamente a la pila. **En este caso el brillo de las bombillas no se ve afectado.**

- **Esquema B.** En este circuito la diferencia de potencial es la misma en los extremos de L1 que en los extremos de L2 y de R.

$$V = i_1 R_1 = i_2 (R_2 + R')$$

Si aumenta el valor de R' , la intensidad i_2 va a disminuir de tal forma que el producto se mantenga constante y por la misma razón i_1 no va a variar. **Como consecuencia, la bombilla L2 disminuye su brillo y la L1 permanece invariable tal como deseábamos. El oscurecedor ya está diseñado.**

Si despejamos la intensidad que pasa por la bombilla "a oscurecer" saldrá:

$$i_2 = \frac{V}{R_2 + R'}$$

5. Análisis de resultados

El análisis correspondiente pone de manifiesto que cuando las bombillas están en serie no se puede conseguir, mediante la introducción y posterior variación de un reostato, que permanezca constante el brillo de una de las bombillas. Esta es una buena ocasión para incidir sobre el razonamiento secuencial tan extendido en los estudiantes.

Sorprende a los alumnos el caso A de asociación en paralelo en que la introducción y posterior variación del reostato no modifica el brillo de las bombillas ya que esta posibilidad no había aparecido en sus hipótesis. Este momento es idóneo para comentar que esta es una de las razones por las cuales la instalación eléctrica de las casas está montada en paralelo. Podemos ir añadiendo elementos, potencialmente variables, sin que el resto de los aparatos

sufra modificación. Además tiene la ventaja de que si una de las ramas queda interrumpida, el resto sigue funcionando con normalidad.

En cuanto al circuito **B** de la Figura 7.9, que soluciona el problema planteado, se puede generalizar al caso de que estén conectadas **n** bombillas en paralelo y queramos modificar únicamente el brillo de una de ellas. La solución sería similar:

$$V = i_1 R_1 = i_2 R_2 = \dots = i_n (R_n + R')$$

Si despejamos la intensidad que pasa por la bombilla **n**:

$$i_n = \frac{V}{R_n + R'}$$

cuanto mayor sea R' menor será i_n y la bombilla se oscurecerá más. En los

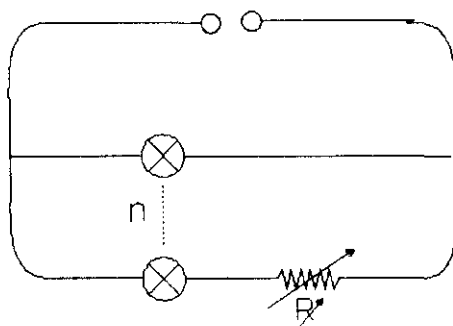
casos límite en que $R' = 0 \rightarrow i_n = \frac{V}{R_n}$ y todas las bombillas lucirán igual, y

si $R' \rightarrow \infty$, $i_n \rightarrow 0$ y la bombilla **n** no brillará ya que por ella no pasaría intensidad.

Se puede comentar que hoy día, en muchas casas existe ya una lámpara con un reostato incorporado que modifica únicamente el brillo de ese aparato, y en consecuencia, proceder a la resolución de un caso práctico:

Tenemos una lámpara con una bombilla de 100 W, 220 V y queremos que la intensidad que pasa por ella pueda reducirse a la mitad ¿Qué tendríamos que hacer?

De acuerdo con los resultados obtenidos, el montaje correcto sería el siguiente:



Por la lámpara **n** si $R' = 0$ pasará una intensidad

$$i_0 = \frac{V}{R_n}$$

y para un valor cualquiera del reostato R'

$$i = \frac{V}{R_n + R'}$$

sustituyendo el valor del voltaje **V** quedaría:

$$i = \frac{i_0 R_n}{R_n + R'}$$

y aplicando la condición del problema $i = \frac{i_0}{2}$ y despejando R' resultaría:

$$R' = R_n$$

luego tendríamos que conectar un reostato cuyo valor máximo fuera precisamente igual al valor de la resistencia de la bombilla independiente de cual fuera éste.

7.4.2. OTROS PROBLEMAS DE ENUNCIADO ABIERTO UTILIZADOS EN LA INVESTIGACION.

Presentamos a continuación un conjunto de problemas que, sobre situaciones abiertas, han sido utilizados en esta investigación formando parte del entrenamiento experimentado por los estudiantes.

MECANICA

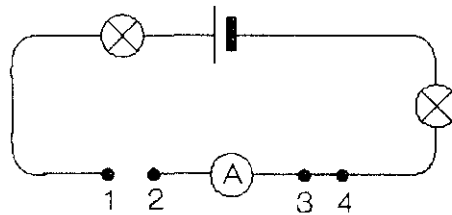
1. Estás jugando con un amigo a lanzarle objetos desde la parte más baja de un tobogán. ¿De qué dependerá que tengas éxito en tu juego?.
2. Un maquinista de un tren ve otro tren marchando por la vía en su mismo sentido: ¿Lo alcanzará?. Estudiar el caso de un tren de mercancías y el AVE.
3. Desde una ventana se están subiendo y bajando objetos con una cuerda. ¿Qué tensión aguantará esta cuerda?. Si en un momento determinado se rompe la cuerda ¿Qué podemos decir de la velocidad con que los objetos llegarán al suelo?. Aplicarlo al caso de un preso que se quiera fugar por una ventana utilizando sábanas atadas.
4. Un avión que va volando quiere bombardear un camión moviéndose por una carretera. ¿Qué cálculos tendrá que realizar el piloto para alcanzar su objetivo?.
5. Julio está jugando a la pelota en la azotea de su casa. En la azotea de enfrente está su vecino. ¿De qué depende que puedan intercambiarse la pelota?.

6. Un coche se ha estropeado y no anda. Queremos empujarlo con otro ¿En qué condiciones lo conseguiremos?.
7. Tenemos un aspersor giratorio cuya boca está a una determinada altura sobre el suelo. ¿Qué superficie alrededor del aspersor podrá regarse?.
8. ¿Cómo podríamos saber la aceleración con que se mueve un ascensor utilizando un dinamómetro?.
9. Calcular que distancia recorrerá por un camino horizontal hasta pararse una bola que se deja caer por una rampa desde una altura h .
10. ¿Con qué velocidad máxima podemos tomar una curva sin derrapar?.
11. Estamos jugando con una piedra atada a una cuerda y la movemos describiendo una circunferencia vertical . Si en determinado momento la cuerda se rompe ¿Cuál es el "área de peligro"?
12. ¿Puede una persona pensar que su régimen de adelgazamiento es efectivo por el hecho de pesarse en un ascensor?.
13. ¿Cual es el peso mayor que puede subir una persona utilizando una polea?

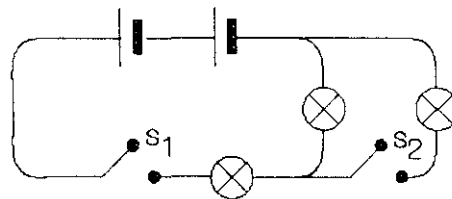
ELECTRICIDAD

1. ¿Qué esperamos que ocurra con el brillo de las lámparas y con la lectura del amperímetro A cuando colocamos hilos de diferentes resistencias entre el punto

1 al punto 2 tal como se muestra en el circuito? ¿Y si colocamos a continuación una resistencia entre los puntos 3 y 4 ?



2. Dado el circuito siguiente explica que ocurrirá cuando los interruptores S1 y S2 ocupen todas las posiciones posibles.



3. Deseamos un coche que al poner en marcha el motor se encienda también la calefacción pero, naturalmente, queremos que esto ocurra únicamente en invierno. ¿Qué tipo de circuito tendríamos que diseñar?.

4. En un circuito eléctrico que tiene un reostato en serie con una bombilla ¿Qué valores ha de ir tomando la resistencia variable para que, al ir añadiendo bombillas, la primera siga luciendo igual?.

5. ¿Qué tendrías que tener en cuenta para construir un fusible?. ¿Y un termómetro de resistencia?.

6. Si tienes dos pilas iguales, cuya resistencia interna vamos a despreciar, y dos bombillas ¿De cuántas formas distintas las podrías conectar? ¿Qué pasaría en cada caso con el brillo de cada una de las bombillas?

Nota: Una pila es suficiente para que una bombilla luzca normalmente.

7. Si tienes dos pilas cuya resistencia interna vamos a considerar y una resistencia exterior ¿Cuánto valdrá la intensidad que circula por el circuito? Discute las ventajas de cada uno de los posibles montajes que puedes realizar.

7.5. EVALUACION DEL PROCESO. RESULTADOS.

El planteamiento de la evaluación se ha presentado como un asunto complejo ya que si tomamos como punto de referencia la definición dada por C. Rosales:

"La evaluación constituye una reflexión crítica sobre todos los momentos y factores que intervienen en el proceso didáctico a fin de determinar cuáles pueden ser, están siendo o han sido, los resultados del mismo" (1981, p 15).

son muchos los puntos que hay que tener en cuenta, destacando la idea de que con la evaluación se pretende fundamentalmente una mejora, no sólo de los resultados, sino de la racionalidad de la práctica educativa (Santos, 1993). Hemos pretendido que la evaluación sea **válida, fiable, y útil**, con la máxima economía para el individuo que aprende, para el profesor con el que aprende y para el investigador (en este caso el propio profesor) que está intentando contrastar sus hipótesis.

En el sentido apuntado en el párrafo anterior, y siguiendo las aportaciones de Fernández Pérez (1986), consideramos que la evaluación es el momento privilegiado en el cual, el sujeto que aprende, adquiere la posibilidad de:

-Comprobar la adecuación o inadecuación del esfuerzo realizado respecto al objetivo.

-Comprobar la adecuación o inadecuación de la dirección en que realiza sus esfuerzos.

-Analizar los porqués de sus fallos o éxitos.

-Discutir nuevas perspectivas para su posterior aprendizaje.

-Tomar las medidas pertinentes para el futuro de su aprendizaje.

Si el alumno está realmente **interesado** en el aprendizaje, entonces el deseo de saber lo que aprendió acerca de lo que le interesa surge espontáneamente de la lógica misma de la psicología humana.

En síntesis, lo que se ha pretendido a lo largo del proceso realizado en el aula, es llevar a cabo una **evaluación formativa** en el sentido definido , C. Rosales (1981) que la caracteriza por:

- Aplicarse a través de la realización del propio proceso didáctico, a lo largo del mismo.

-La finalidad principal de este tipo de evaluación es el perfeccionamiento del proceso en un momento en que todavía puede modificarse.

- En cuanto al grado de generalidad del juicio emitido, la evaluación formativa es eminentemente específica, trata de detectar el nivel de aprovechamiento del alumno en cada habilidad de aprendizaje y los tipos de errores más frecuentes que se dan en el mismo.

- Pedagógicamente, es una constatación permanente del nivel de aprendizaje de cada alumno, en cada unidad instructiva, mediante procedimientos de observación de la actividad discente y/o de aplicación de pruebas con caracter frecuente y muy específico.

En la línea defendida por este autor, **la evaluación formativa** tiene numerosas ventajas de las que nosotros hemos destacado para nuestra investigación las siguientes: la incorporación al propio proceso instructivo de las actividades de recuperación no solo del alumno sino también del proceso didáctico, el carácter motivador que tiene para los propios estudiantes una evaluación de estas características evitando el fracaso producido por una acumulación de errores y por último, este tipo de trabajo constituye un factor de eficacia y perfeccionamiento profesional para el propio profesor.

En consonancia con la perspectiva que hemos apuntando, se ha evaluado el proceso en tres momentos diferentes: **evaluación inicial o diagnóstica, de progreso y final** efectuándose esta evaluación para cada una de las áreas abordadas. A lo largo de la evaluación, se ha dado un protagonismo muy relevante al alumno; establecidos los criterios de corrección, (descritos detalladamente en el apartado siguiente) y tras una toma de datos por parte del profesor-investigador, los estudiantes han tenido la posibilidad de revisar y contrastar sus trabajos, a la luz de los citados criterios, cumpliéndose por tanto los requisitos que hemos apuntado para este tipo de evaluación. Los resultados correspondientes a este proceso y su discusión posterior se presentan en el Apartado 7.5.3.

7.5.1. ANALISIS DEL METAAPRENDIZAJE SOBRE EL PROCESO DE RESOLUCION DE PROBLEMAS.

Presentamos en este apartado los resultados obtenidos a partir del análisis de las entrevistas realizadas a una muestra de 18 alumnos encaminadas por una

parte, a promover en los estudiantes procesos de metaaprendizaje en relación a la tarea que estaban realizando y por otra, a suministrar información al profesor-investigador sobre cuales eran, en opinión de los alumnos, los obstáculos más relevantes que estaban impidiendo el avance en el aprendizaje de la resolución de problemas. Una justificación de la importancia que tienen este tipo de estrategias en el proceso de enseñanza-aprendizaje fue presentada en el Apartado 6.4.5 dentro del marco del diseño de la investigación. Como ya quedó allí descrito, las entrevistas eran de tipo semiestructurado y estaban organizadas alrededor de los siguientes puntos:

- i) Planificación que realiza el alumno cuando se enfrenta a un problema abierto.**
- ii) Estrategias que sigue para la resolución.**
- iii) Puntos clave de mayor dificultad.**
- iv) Circunstancias en que la tarea se ha dado por terminada.**
- v) Aspectos afectivos y motivacionales.**

Para analizar el contenido de las entrevistas hemos seguido las orientaciones de Bliss et al. (1983), recogiendo las aportaciones de los estudiantes en las denominadas **redes sistémicas o networks**. Estas redes trabajan con categorías bien definidas, elaborándose de forma que recojan fielmente la naturaleza de los datos. Un aspecto relevante de este sistema de presentar la

información es que las redes se consideran independientes de cualquier planteamiento teórico es decir, son de la entera responsabilidad del analista (Serrano,1992). En este sentido es interesante hacer una alusión a la **validez** de la información : ¿Como sabemos que el informante dice la verdad?. La cuestión de la validez de los datos recogidos juega un papel muy importante en las investigaciones de tipo etnográfico y su discusión ha sido prolija en argumentos. En lo referente al caso de las entrevistas tiene que ser el entrevistador quien, estando alerta a las posibles influencias que operan sobre los informantes (motivaciones ocultas, deseos de complacer, valores, etc), sea capaz de recoger una información lo más verosímil posible.

El paso de las entrevistas a las redes no es automático; las entrevistas, grabadas en audio, son de una longitud excesiva y hay que reducirlas al mismo tiempo que formatearlas, para poder compararlas unas con otras. El procedimiento consiste en pasarlas al llamado *relato breve* utilizando un mismo esquema para todas ellas. Al mismo tiempo hay que tener sumo cuidado para que no se pierdan aspectos relevantes de la opinión de los estudiantes.

En nuestra investigación se ha procedido a la construcción de estos relatos utilizando como claves las preguntas que en algún momento de la entrevista planteaba el investigador y que sustancialmente han sido:

- 1) Cuando te enfrentas un problema, ¿qué es lo primero que haces?
- 2) ¿Qué pautas de trabajo sigues?
- 3) ¿Donde tienes las mayores dificultades?
- 4) ¿Cuándo consideras que has terminado?
- 5) Comparando con los problemas cerrados, ¿cuáles te producen más satisfacción y te resultan más interesantes para tu aprendizaje?

Una vez obtenidos los relatos se han construido dos redes sistémicas de acuerdo con las finalidades planteadas. La primera va a recoger los resultados para las distintas fases de la resolución de problemas de enunciado abierto, obtenidos en el momento en que se realizaron las entrevistas. La segunda va a presentar las dificultades que los estudiantes manifiestan haber encontrado en la citada resolución. En la elaboración de ambas redes se ha utilizado la notación estándar para estas representaciones (Bliss et al., 1983 p 17).

Como estaba previsto en el diseño inicial, la variable **Dependencia-Independencia de campo** ha sido controlada por lo que el estudio de los contenidos de las entrevistas se ha realizado de forma diferenciada para los sujetos IC y para los DC, utilizándose para el análisis de las citadas redes dos enfoques distintos:

1) El primero está encaminado a detectar las posibles diferencias que manifiestan los sujetos, categorizados en dependientes e independientes de campo, cuando reflexionan sobre el proceso de resolución de problemas en que están inmersos.

2) El segundo, ha puesto el énfasis en el estudio de las dificultades que el citado proceso presenta para todos los estudiantes tratados sin ninguna diferenciación previa.

El análisis que estamos comentando, nos permitió en su momento sacar conclusiones sobre aspectos referidos tanto, a la posible metacognición desarrollada por los alumnos, como a tomar decisiones para retroalimentar el proceso que estaba teniendo lugar en el aula.

7.5.1.1. DIFERENCIAS INDIVIDUALES ACERCA DE LAS FASES DE RESOLUCION

El análisis global de la red correspondiente a las fases que los alumnos manifiestan cubrir cuando resuelven problemas abiertos, nos lleva a detectar diferencias importantes entre los sujetos independientes y los dependientes de campo según se presenta en la Figura 7.1.

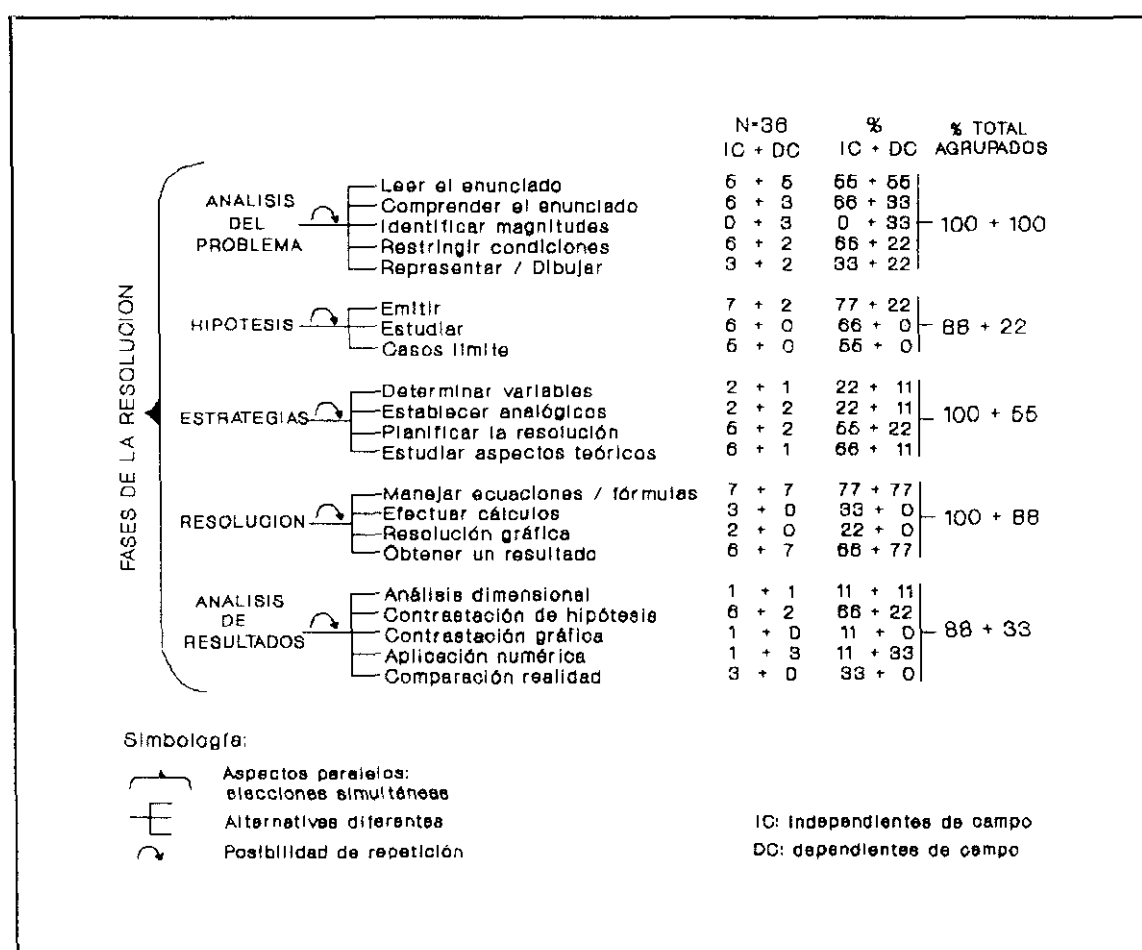


FIGURA 7.1. Red sistémica sobre las fases de resolución de problemas controlando la variable DIC

Los independientes de campo, en un porcentaje nunca menor del 88%, reconocen todas las fases que es recomendable abordar en la resolución de este

tipo de problemas. Este porcentaje baja para los alumnos dependientes en las fases de emisión de hipótesis, ((22 %) diseño de estrategias (55 %) y análisis de resultados (33 %)). Los datos de estas tres fases en las respuestas de los sujetos dependientes parece indicar que estos estudiantes tienen una visión muy restringida de lo que es resolver un problema y que correspondería a un esquema del tipo:

enunciado → manipulación de datos → resolución.

Estos resultados presentan una coincidencia importante con las ideas que recogíamos en el Apartado 5.2.5, referentes a la incidencia de las diferencias individuales en la resolución de problemas, donde numerosos autores indicaban que los dependientes de campo vienen caracterizados por una cierta incapacidad para conseguir una representación articulada de un espacio que se les presenta sin una estructura perceptible. En este caso el espacio correspondería a la resolución de problemas de enunciado abierto (Witkin y Goodenough, 1985; García Ramos, 1989 y López Rupérez, 1991). En la misma línea podemos considerar corroborada la aportación que apuntábamos de Fall et al. (1985) en el sentido de que los alumnos dependientes manifiestan gran dificultad a la hora de extraer información que no aparece de forma explícita en el enunciado de los problemas.

Si realizamos un análisis más detallado del proceso seguido por los estudiantes, detectamos otros datos relevantes:

- En relación a las **hipótesis** aparecen diferencias claras entre los dos tipos de sujetos: un **88%** de los independientes tiene en cuenta a lo largo de la resolución algún aspecto referente a la emisión de hipótesis mientras que estos porcentajes bajan a un **22%** para los dependientes. El análisis de esta información

puede hacerse también a la luz de las aportaciones que presentamos en el **Capítulo 5**. Así, en el Apartado 5.4, donde se discutía las posibles relaciones entre el nivel de pensamiento formal y el estilo cognitivo dependencia-independencia de campo, quedó recogida una síntesis de Mario Carretero en el sentido de que los independientes de campo se ven favorecidos cuando tienen que realizar tareas de control de variables o razonamiento hipotético- deductivo que llevan implícito procesar la información de forma muy estructurada. En nuestra opinión, la fase en que los alumnos tienen que emitir hipótesis sobre cuales van a ser las variables que van a influir en el resultado y las características de esta influencia, serían semejantes a las comentadas por M. Carretero. En este sentido, los resultados obtenidos estarían de acuerdo con los aportados por la bibliografía.

En la Figura 7.2 se presentan de forma gráfica los resultados obtenidos

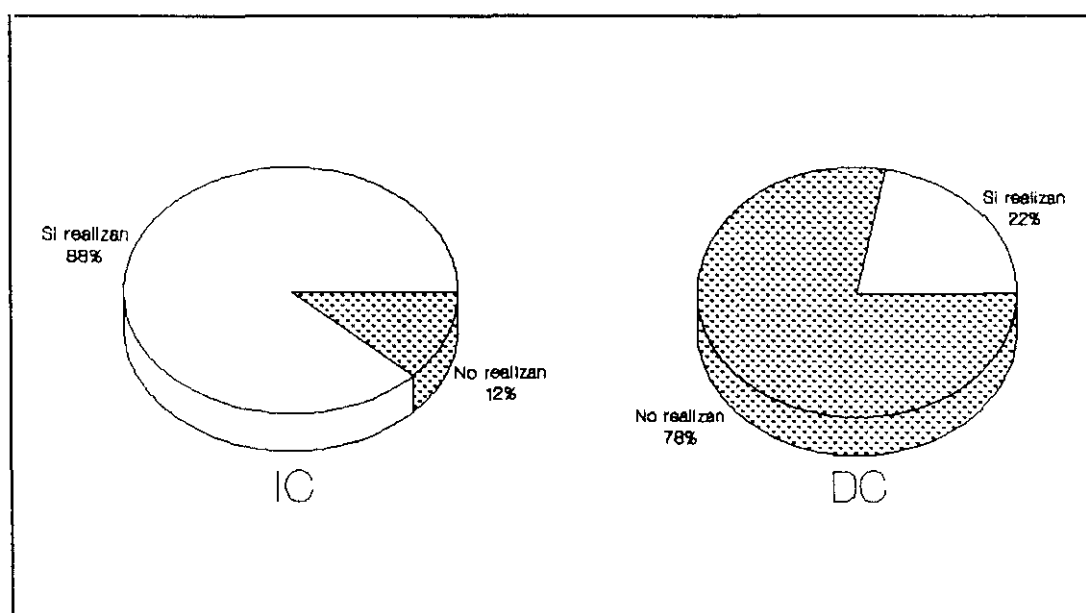


FIGURA 7.2. Porcentajes de alumnos que realizan emisión de hipótesis controlando la variable DIC

● Los datos correspondientes a **la elaboración de estrategias** muestran que dentro de los alumnos categorizados como dependientes de campo, sólo un **55%** del total reconoce utilizar alguna estrategia determinada para la resolución del problema y más en concreto, sólo un **22%** de éstos hace algún tipo de planificación del trabajo a realizar. En manifiesta contraposición, **la totalidad de los alumnos independientes de campo declaran emplear algún tipo de estrategia**. Estos resultados están también en concordancia con la característica que reseñamos en su momento para los sujetos dependientes de campo frente a los independientes: su dificultad para escoger la estrategia más adecuada entre las disponibles o para abandonar una determinada estrategia cuando ésta se muestra inoperante (Pascual-Leone, 1978; Corral, 1982 y Niaz, 1989a). En la Figura 7.3 aparecen diagramas comparativos entre los dos tipos de sujetos que estamos comentando.

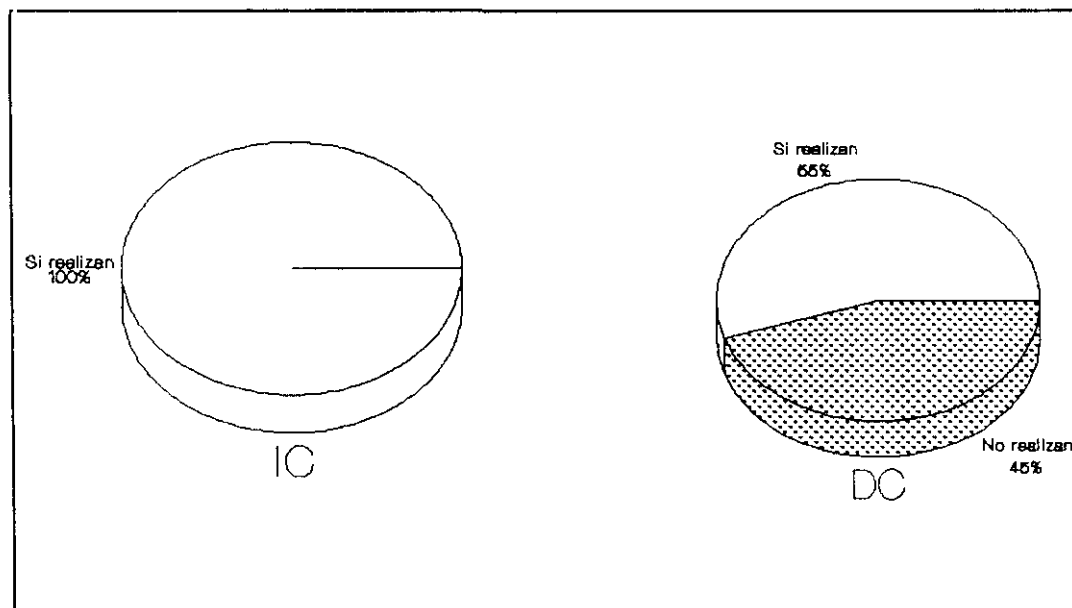


FIGURA 7.3. Porcentajes de alumnos que elaboran estrategias de resolución controlando la variable DIC

Dentro de esta fase de diseño de estrategias de resolución, hay que destacar también el papel que juega el reconocimiento del marco teórico en que

se encuadra la resolución del problema. Llama la atención que sólo el **66%** de los alumnos independientes de campo sea consciente de que la resolución tiene lugar siempre dentro de un marco teórico determinado. Este porcentaje baja al **11%** para los dependientes.

- En cuanto al **análisis de resultados** como fase de la resolución, aparecen también claras diferencias entre ambos tipos de individuos: un **88%** de los independientes efectúa algún tipo de análisis del trabajo realizado; para los dependientes este porcentaje se reduce al **33%**. Dentro de las posibles tareas que pueden desarrollarse en esta etapa de análisis, hay que destacar por su importancia la referente a la contrastación de las hipótesis ya que, ésta va a permitir sacar conclusiones acerca de la corrección del resultado obtenido. En este punto aparecen también diferencias destacables: **un 66% de los independientes lleva a efecto algún tipo de comprobación mientras que este porcentaje baja al 22% para los dependientes**. Estos datos concuerdan aproximadamente con los que hemos comentado para la emisión de hipótesis aunque, como se puede observar, no todos los alumnos que inicialmente han emitido algún tipo de hipótesis proceden a su contrastación al final del proceso. En la Figura 7.4 se presentan los resultados de forma gráfica.

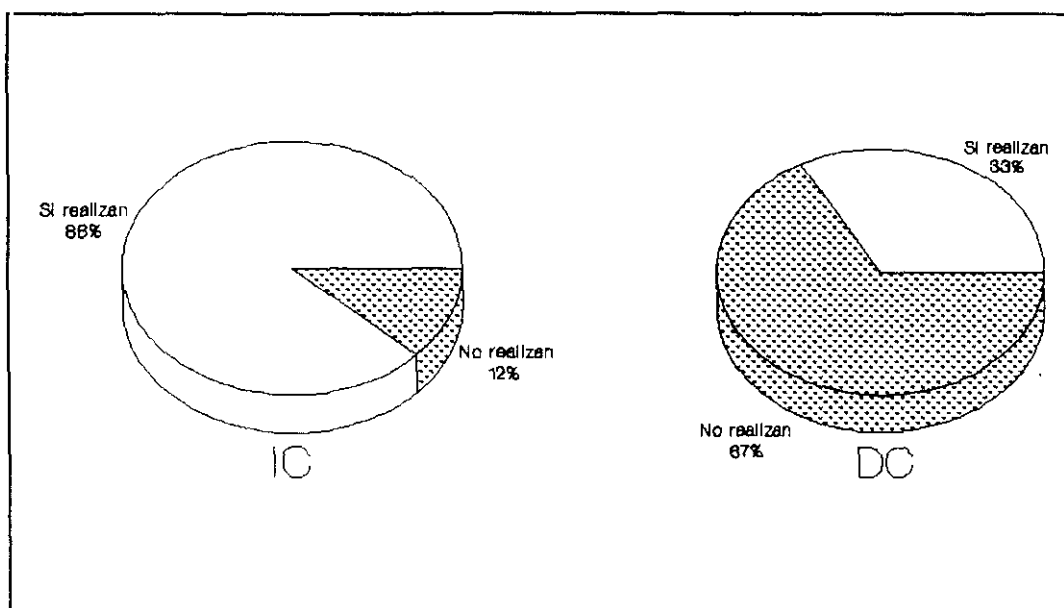


FIGURA 7.4. Porcentajes de alumnos que realizan análisis de resultados controlando la variable DIC

Para concluir podemos decir que cuando se controla la variable correspondiente al estilo cognitivo dependencia-independencia de campo aparecen diferencias significativas para el comportamiento de los individuos a la hora de abordar la resolución de problemas de enunciado abierto. **En contraposición a los alumnos independientes de campo, los dependientes no realizan mayoritariamente emisión de hipótesis ni análisis de resultados. Sólo la mitad de estos individuos reconoce utilizar alguna estrategia determinada a la hora de resolver los problemas, frente a los independientes que lo hacen en un porcentaje del cien por ciento.**

7.5.1.2. ANALISIS DE DIFICULTADES.

La red sistémica elaborada a partir de las dificultades que se han detectado mediante las entrevistas realizadas, aparece en la Figura 7.5.

El análisis global de los datos presentes en esta red pone de manifiesto que, en el momento en que se realizaron las entrevistas, **la fase de análisis del problema en todas sus facetas** (citada por el **50%**) es la que globalmente **presenta mayor dificultad** para todos los estudiantes, **seguida de la referida a la emisión de hipótesis** (citada por un **27%**).

Si profundizamos en los diferentes aspectos que incluye el **análisis cualitativo** del problema observamos que el obstáculo más importante aparece a la hora de realizar la restricción de condiciones. El **38%** de los alumnos manifiesta su dificultad a la hora de "acotar" o "centrar" el problema (*"saber que es lo que estan pidiendo"*) y un **16%** tropieza en el análisis global del mismo, en el sentido de reconocer que se encuentra ante un caso general que tiene que resolver dándose cuenta de *"todo el abanico de posibilidades que encierra"*

En cuanto a **la emisión de hipótesis** hay que destacar que sus opiniones están poco matizadas. La idea más generalizada sobre la etapa es que resulta *"muy difícil"* sobre todo en los casos límite cuya utilidad no acaban de asumir: *"tengo problemas para imaginármelo, no me ayudan"*. Como ya hemos comentado en el apartado anterior, todas las tareas relacionadas con el tema de las hipótesis supone niveles de razonamiento muy elaborados así como un manejo organizado de la información, siendo por tanto una tarea que, *a priori*, presenta un alto grado de dificultad.

Por último, destacar el hecho de que únicamente un **16%** de los alumnos manifiesta tener cierta dificultad en el **análisis de resultados**. Sin embargo, nuestra opinión, a la luz de las entrevistas, va en la línea de afirmar que esta fase es realizada por los estudiantes de forma muy superficial: **los alumnos no están**

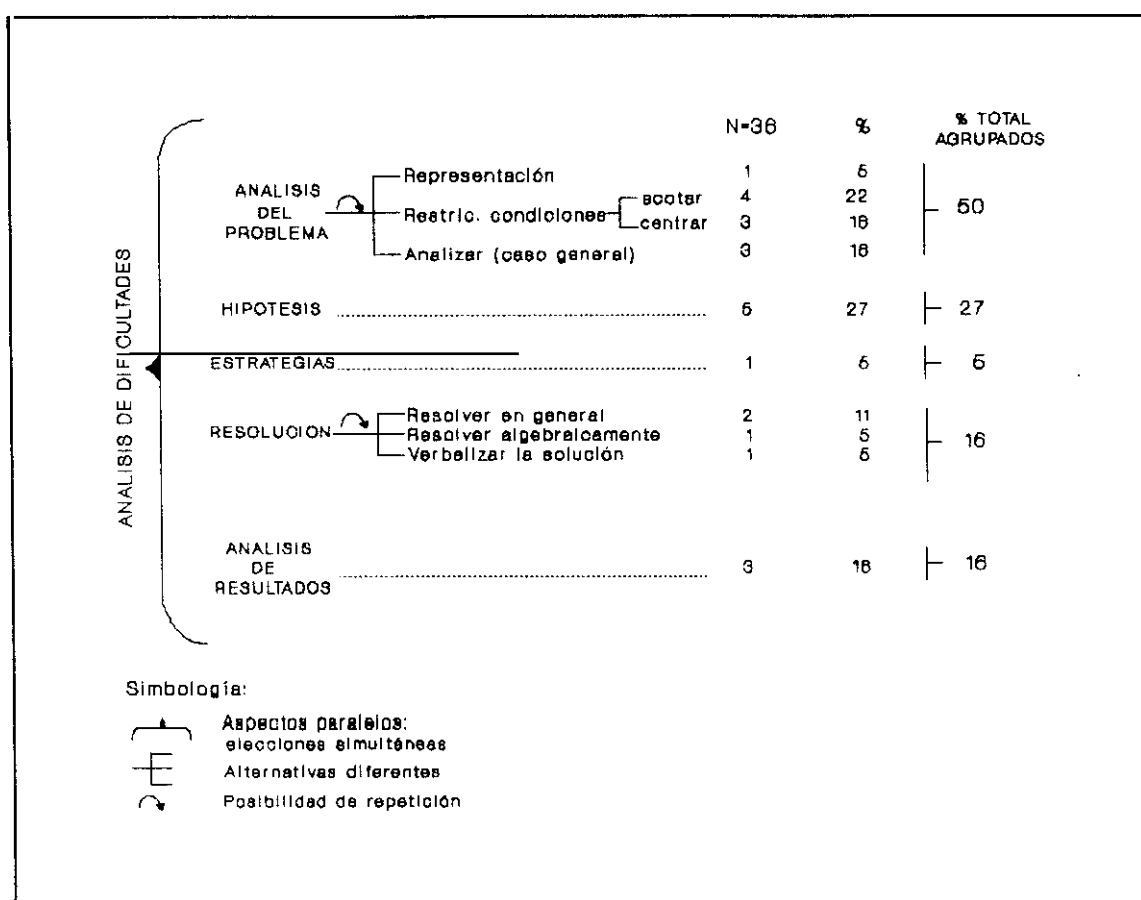


FIGURA 7.5. Red sistémica sobre las dificultades manifestadas por los estudiantes

acostumbrados a ser críticos y por tanto no tienen la necesidad de analizar con cierto rigor sus propios resultados. Como apuntan Reif y Larkin, en un documentado trabajo sobre la cognición en los dominios científico y cotidiano: *"Los estudiantes son proclives a aceptar acríticamente el conocimiento científico adquirido desde las fuentes autorizadas -profesores, libros de texto- incluso cuando son incapaces de interpretarlo adecuadamente o conectarlo con sus observaciones "*. En términos generales no tienen asumido el criterio de validez con que trabaja la Ciencia del conocimiento científico: *"La validez debe ser cuidadosamente comprobada para asegurar que las deducciones a partir de las premisas básicas están libres de errores y conclusiones no comprobadas"* (Reif y Larkin, 1991 p 742).

Aunque en esta fase del análisis de las entrevistas no teníamos la intención de tratar aspectos relativos a las características individuales, un estudio global evidencia la existencia de una clara diferencia entre los alumnos cuando se considera como variable el estilo cognitivo dependencia-independencia de campo : **el 44% de los dependientes, frente a 0% de los independientes, son incapaces de matizar que etapa o etapas del proceso han representado para ellos un obstáculo relevante.** Por el contrario, estos alumnos manifiestan una dificultad global frente a la resolución de este tipo de problemas.

El hecho de que manifiesten esta dificultad global frente a la resolución del problema, hay que analizarlo junto a sus opiniones sobre cómo les ha resultado la tarea de resolución de problemas abiertos en comparación con la resolución de problemas estándar, sobre la que también tienen experiencia. Aproximadamente **la mitad** de los alumnos **dependientes** manifiesta que efectivamente los problemas abiertos les resultan "*más difíciles*" pero a pesar de ello los encuentran interesantes porque "*ayudan a pensar*" o "*porque se aprende un montón*". Alguno de estos alumnos manifiesta claramente que prefiere los problemas cerrados porque son más fáciles de abordar, o porque "*cuando buscas un resultado numérico y lo encuentras, te alegras*". El **50%** restante opina que los problemas abiertos son más fáciles porque "*tienes más campo de acción para resolver*" o porque "*después de hacer varios resultan muy asequibles*". Es decir, **la mayoría de estos alumnos al margen del nivel de dificultad de la tarea a realizar, están motivados hacia este tipo de problemas.**

Los datos anteriormente comentados sobre aspectos motivacionales en los alumnos **dependientes de campo**, han sido ampliados a los sujetos **independientes** cuya opinión mayoritaria está en una línea de aceptación de la

metodología de trabajo desarrollada: *"estos problemas son más difíciles pero más motivadores", o "me gustan porque los puedes interpretar a tu manera, admitiendo muchas posibilidades", o "me interesan porque trabajas con ideas y permiten la revisión de lo hecho"*, llegando algunos estudiantes a manifestar su aceptación contraponiéndolos a los problemas estándar: *"los problemas cerrados son más inmediatos: pones números y ya está. En un problema abierto tienes que elaborar más, dándote cuenta de todo lo que engloba el problema"*.

Toda la información recogida lleva a la conclusión de que la metodología de trabajo propuesta resulta altamente motivadora, realidad constatada con los resultados de la prueba actitudinal realizada al final del proceso (Apartado 7.5.4). Esta motivación, en nuestra opinión, ha sido determinante para superar las dificultades detectadas. De hecho, como queda reflejado en los resultados presentados en este capítulo, la eficacia en la resolución de problemas ha avanzado de forma significativa a lo largo del proceso obteniéndose al final del mismo unos resultados muy positivos.

Como síntesis señalar que en el momento de realizar las entrevistas, aproximadamente hacia la mitad del proceso, **las mayores dificultades manifestadas por los alumnos eran las relacionadas con el Análisis del problema y la Emisión de hipótesis**. El hecho de que solo un 16% reconozca la dificultad de la fase de Análisis de resultados es debido, en nuestra opinión, al desconocimiento por parte de los estudiantes de lo que realmente constituye esta destreza.

A pesar del nivel de dificultad manifestado, la tarea que estaban realizando resultaba altamente motivadora con independencia de las características individuales de los estudiantes.

Para concluir este apartado apuntar que la realización y análisis posterior de las entrevistas ha cumplido ampliamente los objetivos que nos habíamos propuesto en el diseño de la investigación y que como describimos en el **Capítulo 6** se establecían a dos niveles:

- Favorecer en los estudiantes estrategias de metaaprendizaje en el sentido de hacerles conscientes de las demandas presentadas por la tarea -resolución de problemas abiertos- que están resolviendo.
- Informar al profesor-investigador acerca de la opinión de los estudiantes sobre cuestiones cruciales tales como los obstáculos más relevantes que aparecen en el proceso y el grado de motivación hacia la tarea que están realizando.

Tomando como punto de partida, que el planteamiento de trabajo dentro del aula estaba en la línea, anteriormente comentada de **investigación- acción**, el análisis cuidadoso de la información recogida a través de las entrevistas realizadas, permitieron en ese momento del proceso, poner en marcha las correspondientes estrategias de realimentación fundamentales en esta orientación donde una de las ideas clave sería la de *investigar para la acción*.

7.5.2. CRITERIOS UTILIZADOS PARA LA EVALUACION DE LOS PROBLEMAS DE ENUNCIADO ABIERTO.

De acuerdo con la **evaluación formativa** que hemos planteado hay que realizar una subdivisión o especificación de las tareas implicadas en la resolución de problemas, a fin de poder constatar en un determinado momento, cuál es el

progreso de cada alumno en cada una de ellas y en consecuencia, detectar las dificultades más frecuentes para proceder a la realimentación del proceso.

La subdivisión realizada, como veremos más adelante, va a facilitar, también, el análisis de datos previsto en el diseño de la investigación ya que, como adelantábamos en el **Capítulo 5**, en lo relativo a la influencia de las diferencias individuales en la capacidad de los alumnos para resolver problemas, una posible explicación de la falta de homogeneidad de los resultados de las investigaciones podría estar en valoraciones excesivamente globales del trabajo realizado por los alumnos.

A fin de superar los dos tipos de problemáticas comentadas en los párrafos anteriores hemos optado por establecer, para cada uno de los problemas evaluados, un conjunto de variables según la naturaleza de la tarea realizada. Este concepto de **variable** estaría próximo a la noción de **esquema** en el sentido utilizado por López Rupérez, inspirado en la Psicología cognitiva:

"Para cada problema podemos identificar los diferentes esquemas de razonamiento que, a modo de estructuras unitarias relativamente independientes, configuran la resolución del problema en su conjunto. Constituye el exponente de una organización operacional del conocimiento que guía las inferencias del sujeto en la resolución de un problema o de una porción definida del mismo. Constituye pues, una combinación de conocimiento declarativo y de conocimiento procedimental en la medida que supone conocimiento, comprensión y manejo conceptual"

(López Rupérez, 1991 pp 98-99).

Consecuente con este planteamiento, hemos definido dos tipos de variables teniendo en cuenta la naturaleza de la tarea:

Variables de contenido VC: Han sido establecidas específicamente para cada uno de los problemas. Los criterios de definición empleados son semejantes, en la medida de lo posible, para todos los problemas propuestos en cada uno de los campos explorados.

Variables de tipo metodológico VM: Han sido establecidas de acuerdo con el modelo de resolución de problemas en que los individuos han sido entrenados tal como quedó descrito en el Apartado 7.3.1. Siguiendo los criterios de sus autores, estas variables se han definido de forma idéntica para todo el conjunto de problemas evaluados, desglosándose en una serie de subvariables para facilitar la corrección de las producciones realizadas por los estudiantes (Gil y Martínez-Torregrosa, 1983). La plantilla utilizada ha sido la siguiente:

VM1. Análisis cualitativo del problema:

- 1.1. Análisis cualitativo de la situación
- 1.2. Explicitación de lo que se pretende encontrar.
- 1.3. Restricción de condiciones.
- 1.4. Realización de algún gráfico o esquema.

VM2. Emisión de hipótesis:

- 2.1. Emisión de hipótesis sobre los factores que influyen y naturaleza de la influencia.
- 2.2. Estudio de casos límite de fácil interpretación.

VM3. Elaboración de estrategias:

- 3.1. Explicitación de la estrategia que se va a seguir.
- 3.2. Grado de corrección de la estrategia.
- 3.3. Explicitación de estrategias alternativas.
- 3.4. Establecimiento de analogías con otros casos más conocidos.
- 3.5. Se resuelven primero casos más simple o se divide el problema en fases.

VM4. Resolución del problema:

- 4.1. Se hace referencia detallada a la teoría que se utiliza.
- 4.2. Se realiza en primer lugar una resolución algebraica.

VM5. Análisis de resultados:

- 5.1. Corrección del resultado algebraico y numérico, unidades, orden de magnitud...
- 5.2. Interpretación del resultado a la luz de las hipótesis y del marco teórico utilizado.
- 5.3. Comprobación de los casos límite.

Además de las variables que hemos indicado, y de acuerdo con el tratamiento efectuado en que se enfatizaba la necesidad de que los alumnos verbalizasen las operaciones que iban realizando, se ha considerado de interés recoger también el siguiente dato:

A. Nivel de verbalización.

- A.1. La verbalización del proceso de resolución es escasa.
- A.2. La verbalización del proceso de resolución es suficiente.

Por último, hemos controlado que número de alumnos abandonaban la resolución de cada problema pues nuestra experiencia profesional nos dice que, en numerosos casos, los alumnos enfrentados a un problema de Física abandonan la tarea en un tiempo muy corto sin tratar de resolverla. A esta variable la hemos denominado:

B. Grado de abandono.

Presentamos a continuación, a modo de ejemplos, los criterios de corrección para dos de los problemas -uno de **Mecánica** y otro de **Electricidad**- empleados como control a lo largo del proceso. En el **Anexo 2** aparece el resto de los problemas con los que se ha realizado la evaluación especificando las variables definidas en cada uno de ellos.

Para terminar indicar que para realizar la evaluación, se seleccionaron seis problemas, tres de **Mecánica** y tres de **Electricidad**, en consonancia con la secuencia de la enseñanza impartida, admitiendo mayor índice de dificultad a medida que se iba avanzando en cada una de las áreas.

PROBLEMA DE MECANICA

PM3. JUGANDO EN UNA RAMPA

Se lanza un objeto por una pendiente. ¿Hasta qué punto conseguirá ascender por el lado opuesto?

Este problema admite dos estrategias de resolución diferentes. Una aplicando la segunda ley de Newton para calcular las aceleraciones en cada tramo y a partir de ahí, y con las ecuaciones del movimiento, calcular velocidades y espacios. La otra aplicando el principio de conservación de la energía mecánica, que aunque se podría realizar tomando únicamente los puntos inicial y final, los alumnos objeto de este estudio, lo han hecho siempre por tramos. Vamos a presentar a continuación las variables correspondientes a cada uno de los enfoques.

Variables metodológicas

PM3.VM1. El análisis cualitativo consiste en describir que el objeto se va a mover sobre una trayectoria como la dibujada:



En el análisis cualitativo, algunos estudiantes concretan la problemática presentada en el caso una bola bajando por un carril, un cochecito por una rampa, semejanzas con el juego del minigolf, etc.

A partir de considerar un objeto con una velocidad inicial en el punto más alto de una de las rampas, hay que reconocer que subirá por el lado opuesto hasta que se pare, es decir, hasta que su velocidad sea cero.

La restricción que mayoritariamente van a introducir nuestros alumnos es que podamos despreciar el rozamiento. Hay que tener en cuenta que en este nivel

académico el manejo de las fuerzas de rozamiento en planos inclinados presenta para ellos una dificultad nada despreciable. También se puede admitir la restricción de que las dos rampas presenten la misma inclinación.

PM3. VM2. La emisión de hipótesis tiene aquí varios aspectos que vamos a describir.

1er tramo: la velocidad con que llega al punto más bajo va a depender directamente de la velocidad con que salió y de la inclinación de la rampa, aparte de la gravedad. Es muy frecuente que los alumnos introduzcan como variable influyente la masa del objeto.

2º tramo: si no hay rozamiento, la velocidad va a permanecer constante independientemente de la longitud del camino horizontal.

3er tramo: el espacio recorrido va a depender directamente de la velocidad inicial e inversamente de la inclinación de la rampa. Aquí suele aparecer también la masa retrasando la subida: *"a mayor masa, antes se parará"*.

Un caso límite interesante es que si la inclinación de la rampa de subida vale cero el cuerpo no se parará nunca (espacio recorrido ∞).

PM3. VM3. Como ya hemos comentado antes, este problema admite dos **estrategias de resolución**, habiendo realizado los estudiantes ambas en la resolución de este problema.

PM3. VM4. La resolución del problema en el caso de aplicar las leyes de Newton para el primer tramo, nos llevará a obtener para la velocidad adquirida el valor de:

$$v = \sqrt{v_0^2 + 2as}$$

donde

$$a = g \cdot \text{sena}$$

en el 2º tramo, si despreciamos el rozamiento, la velocidad permanecerá constante y para el tercero el espacio recorrido hasta pararse será:

$$s = \frac{v^2}{2a}$$

donde la aceleración vale $a = g \cdot \text{sen}\beta$. Sustituyendo su valor y el de la velocidad con que inició la subida, quedará para el espacio recorrido antes de pararse:

$$s = s_0 \frac{\text{sena}}{\text{sen}\beta} + \frac{v_0^2}{2g \text{sen}\beta}$$

Si el problema se resuelve por energías la velocidad al final del primer tramo sería:

$$v = \sqrt{v_0^2 + 2gh_0}$$

esta velocidad se mantendría a lo largo del tramo horizontal y la altura final alcanzada hasta pararse resultaría:

$$h = h_0 + \frac{v_0^2}{2g}$$

PM3. VM5. El análisis de resultados para este problema presenta varias facetas. Resuelto el problema por los dos procedimientos es muy interesante comprobar que se llega al mismo resultado ya que se cumple:

$$\begin{aligned} h_0 &= s_0 \text{sena} \\ h &= s \cdot \text{sen}\beta \end{aligned}$$

y sustituyendo en la expresión de las alturas queda:

$$s \cdot \text{sen} \beta = s_0 \text{sen} \alpha + \frac{v_0^2}{2g \text{sen} \beta}$$

de donde despejando s y obtenemos:

$$s = s_0 \frac{\text{sen} \alpha}{\text{sen} \beta} + \frac{v_0^2}{2g \text{sen} \beta}$$

que coincide con el resultado obtenido mediante el otro procedimiento utilizado.

Por otra parte, a la luz de las hipótesis avanzadas se puede comprobar que s depende directamente de la velocidad inicial con que se lanza el cuerpo así como de las características de la rampa (s_0 y α o su combinación h_0). Efectivamente el ángulo β , o más exactamente $\text{sen} \beta$, influye inversamente en el valor alcanzado para el espacio s . Si no se considera el rozamiento, la longitud del tramo horizontal no influye en el resultado.

En el caso límite de que $\beta = 0 \Rightarrow \text{sen} \beta = 0$ y el espacio sale infinito: el cuerpo no se pararía nunca como habíamos avanzado.

Variables de contenido

Si se procede a una resolución dinámica tenemos:

PM3. VC1. Dibujar ejes de coordenadas en los tramos que constituyen la trayectoria. Dibujar las fuerzas que actúan en cada tramo realizando, para los planos inclinados, la descomposición gráfica de los mismos.

PM3. VC2. Resolver el primer tramo aplicando la segunda ley de Newton reconociendo la existencia de velocidad inicial y una fuerza resultante hacia abajo.

PM3. VC3. Reconocer que en el tramo horizontal la única fuerza que afecta al movimiento es el rozamiento en cuyo caso la velocidad disminuiría. Si se ha considerado que no existe rozamiento el movimiento será uniforme y la velocidad permanecerá constante a lo largo del plano.

PM3. VC4. Aplicar de nuevo la segunda ley de Newton que en este caso, debido a la existencia de una fuerza resultante en sentido contrario a la velocidad, conduce a un movimiento desacelerado hasta pararse. El espacio recorrido o la altura alcanzada será el resultado del problema.

Para el caso de resolver el problema por conservación de la energía tenemos las siguientes variables de contenido

PM3. VC1. Aplicar el principio de conservación de la energía mecánica del primer tramo reconociendo que inicialmente hay energía cinética y energía potencial que van a convertirse íntegramente (si no hay rozamiento) en energía cinética en el punto de abajo.

PM3. VC2. En el tramo horizontal, si no se considera el rozamiento, la energía mecánica se conserva y por lo tanto llega al final del tramo con la misma velocidad.

PM3. VC3. Asumir que el punto más alto al que llegará el móvil corresponderá a una energía potencial igual, por conservación, a la energía cinética con que inició la subida. Deducir la altura alcanzada.

PROBLEMA DE ELECTRICIDAD

PE2. EL PROBLEMA DE LA MEDIDA: AMPERIMETROS Y VOLTÍMETROS.

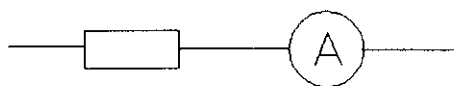
Tenemos un amperímetro de resistencia interna que puede medir como máximo I amperios. ¿Qué podemos hacer para poder medir intensidades mayores?

¿Cómo podemos resolver el problema para un voltímetro de resistencia r y que como máximo puede medir V voltios?

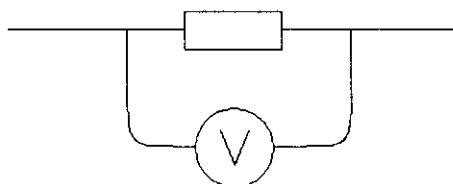
Variables metodológicas

PE2. VM1. El análisis del problema plantea la limitación de los aparatos de medida a la hora de utilizarlos en un circuito concreto. Esta limitación viene impuesta por la construcción del aparato en cuestión y si se quiere utilizar para medir cantidades mayores de las previstas hay que realizar determinadas modificaciones.

Un planteamiento previo a resolver el problema es asumir que los amperímetros se conectan siempre en serie con el elemento que queremos estudiar. La lectura del A nos dará directamente el valor de la intensidad que atraviesa el elemento considerado tal como se aprecia en el siguiente esquema:



Por el contrario los voltímetros se colocan en derivación con el elemento que pretendemos analizar, pudiéndose leer directamente la diferencia de potencial deseada



Un análisis cuidadoso permite apreciar que la resistencia interna de los amperímetros debe ser pequeña comparada con la resistencia del aparato que queremos estudiar, pues al pasar por ambos la misma intensidad la pérdida de energía térmica en el **A** sería importante, cosa no deseable en ningún caso. Por la misma razón los **V** se construyen con resistencia interna elevada para que se desvíe por la rama en que están colocados la menor intensidad posible.

El problema quedaría planteado en los siguientes términos: en el caso del **A** habrá que colocar una resistencia en paralelo por la que se desvía la parte de corriente eléctrica que no conviene que atraviese el aparato de medida. Para el caso del **V** habrá que conectar una resistencia en serie donde se produzca parte de la caída de potencial que deseamos determinar.

En cuanto a las restricciones la más genérica sería despreciar la resistencia de los cables que forman parte del circuito.

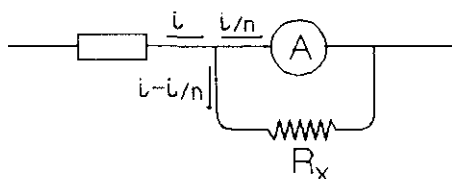
PE2. VM2. La hipótesis que se puede avanzar iría en los siguientes términos: el valor de la resistencia utilizada en ambos casos va a ser proporcional a los valores de las resistencias internas de los aparatos. La constante de proporcionalidad va a depender de la fracción de intensidad o de voltaje que queramos desviar, en cada caso, de los aparatos de medida.

En el caso límite de que $n \rightarrow \infty$, la resistencia en paralelo con el A tendría que tender a cero ya que por ella se desviaría toda la corriente. Para el voltímetro este caso teórico daría como consecuencia conectar una resistencia de valor ∞ .

PE2. VM3. Para resolver el problema las estrategias más adecuadas serían las siguientes:

Amperímetro

Realizar un esquema del circuito con la resistencia problema en paralelo con el A tal como se observa en el circuito siguiente:



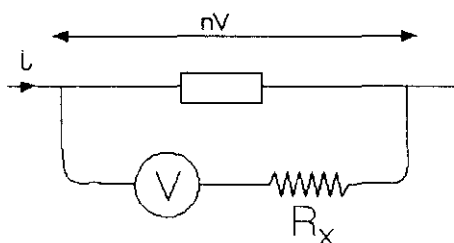
Si queremos medir una intensidad de valor i y el amperímetro solo permite una fracción de ella: $\frac{i}{n}$, aplicando el principio de conservación de la corriente

eléctrica deduciremos que por R tiene que pasar una intensidad de valor:

$$i - \frac{i}{n} = i \left(1 - \frac{1}{n} \right)$$

Por otra parte la diferencia de potencial en los extremos de R_x es la misma que la d.d.p. en los extremos del aparato.

El circuito, para el caso del **voltímetro**, quedaría:



La estrategia a seguir sería: si la caída de potencial en los extremos de \square es n veces mayor que la caída que soporta el voltímetro, la diferencia $nV - V$ tendrá que producirse en la resistencia problema R_x por donde pasa la misma corriente que por el voltímetro.

PE2. VM4. Aplicando las estrategias de resolución que hemos apuntado se obtienen los resultados que presentamos a continuación. Para el **amperímetro** la resistencia añadida valdrá:

$$R_x = \frac{r_A}{n-1}$$

r_A : (resistencia interna del amperímetro)

Para el **voltímetro** tendremos que conectar una resistencia de valor:

$$R_x = r_v(n-1)$$

r_v : (resistencia interna del voltímetro)

PE2.VM5. Como se había avanzado en las hipótesis, el valor de la resistencia que se introduce es proporcional, en ambos casos, a la resistencia interna de los aparatos. Para el **amperímetro** cuanto mayor sea n (es decir, cuanto mayor sea la fracción de intensidad que queremos desviar del A) menor será el valor de la resistencia que queremos añadir. Naturalmente si $n=1$, es decir toda la intensidad pasara por el amperímetro, $R_x = \infty$, no habrá que poner ninguna resistencia y en el caso límite $n \rightarrow \infty$, R_x tendería a cero como se había adelantado.

Para el **voltímetro** el problema es diferente, cuanto mayor sea n , es decir, cuanto mayor sea el voltaje que queremos medir comparado con el que permite el V , mayor será la resistencia a colocar en serie con el aparato. Si $n=1$, hay coincidencia entre el voltaje a medir y el máximo admitido y por lo tanto la resistencia añadida tendría de valor cero y en el caso límite de que $n \rightarrow \infty$, la resistencia necesaria tendería también a: ∞

Variables de contenido

Amperímetro

PE2. VC1: Considerar que hay que conectar una resistencia en paralelo con el amperímetro por el que se tiene que desviar la fracción de corriente que no queremos que atraviese el aparato.

PE2. VC2. Aplicar el principio de conservación de la corriente eléctrica junto con la condición de que **R** esté en paralelo con la resistencia r_A del amperímetro.

Voltímetro

PE2. VC3. Considerar que hay que colocar una resistencia en serie con el aparato de tal forma que una parte de la diferencia de potencial que queremos medir se produzca en los extremos de esta resistencia.

PE2. VC4. Aplicar la conservación del voltaje en el sentido de considerar que la diferencia de potencial en el voltímetro ($i \cdot r_v$) sumada con la diferencia de potencial en la resistencia conectada ($i \cdot R_x$) da la diferencia de potencial total.

7.5.3. EVOLUCION DE LOS ESTUDIANTES EN EL PROCESO DE RESOLUCION DE PROBLEMAS.

La evolución que iban a experimentar los alumnos a lo largo del proceso, había sido prevista como un supuesto de partida formando parte de nuestras hipótesis de trabajo: **Una metodología de resolución de problemas de tipo investigativo, como la propuesta en esta investigación, va a conseguir una evolución positiva en la capacidad de resolver problemas por parte de los alumnos.** Nosotros hemos comenzado el entrenamiento en el área de la Mecánica, transfiriendo las destrezas adquiridas a la Electricidad donde, tras un pequeño período de adaptación al nuevo campo, se producirá un progreso relevante.

De acuerdo con el diseño de la evaluación que hemos planteado, se seleccionaron seis problemas, tres de Mecánica y tres de Electricidad, según la secuencia de la enseñanza en las citadas áreas, tal como apuntamos en el Apartado 7.5.2. Para estudiar la evolución experimentada por los estudiantes a medida que iban avanzando en la utilización de la metodología de resolución propuesta, hemos efectuado seis tomas de datos en momentos denominados **inicial, progreso y final** para cada una de las áreas exploradas.

A partir de los datos encontrados, vamos a realizar dos tipos de análisis, uno de detalle centrado en las áreas, y otro que va a recoger la evolución temporal que, de forma global, han experimentado los sujetos del grupo experimental a lo largo de todo el proceso.

7.5.3.1. ANALISIS CENTRADO EN LAS AREAS.

Presentamos a continuación los resultados obtenidos en cada una de las áreas.

MECANICA

Los tres problemas que se han empleado en la evaluación dentro de este campo, siguiendo una secuencia temporal, son los que hemos denominado:

PM1: El problema del ascensor

PM2: Ciclistas en un velódromo.

PM3: Jugando en una rampa.

De acuerdo con la descripción realizada en el apartado anterior, se han definido para estos problemas las denominadas **Variables de Contenido**, específicas de cada uno de ellos, y las **Variables Metodológicas**, comunes a todos los problemas de acuerdo con el modelo de trabajo propuesto (ver Apartado 7.5.2) y que a modo de recordatorio presentamos a continuación:

VM1: Análisis cualitativo del problema

VM2: Emisión de hipótesis

VM3: Elaboración de estrategias

VM4: Resolución del problema

VM5: Análisis de resultados

En el **Anexo 2** y en el apartado arriba citado, se presentan los problemas utilizados, especificando las variables correspondientes a cada uno de ellos.

Con el fin de comparar los resultados de los distintos problemas hemos procedido a transformar las puntuaciones de la siguiente manera: para cada variable se ha definido un nuevo valor calculado de acuerdo con la expresión:

$$VC_j = 100 \frac{1}{P_{\max}} \sum_{i=1}^{36} \frac{VC_i}{36}$$

donde **P max** representa la puntuación máxima que se puede obtener en cada uno de los esquemas y **j** va desde **1 a 4** para cada uno de los problemas.

De forma análoga, para el caso de las variables metodológicas quedaría:

$$VM_j = 100 \frac{1}{P_{\max}} \sum_{i=1}^{36} \frac{VM_i}{36}$$

donde j va desde 1 a 5 para cada problema.

En las Figuras 7.6 y 7.7 presentamos de forma gráfica los resultados, para cada uno de los problemas, diferenciando el campo de los contenidos del campo metodológico.

Globalmente, las gráficas muestran claramente una **evolución positiva** de los estudiantes a lo largo del proceso pudiéndose realizar una serie de matizaciones. En lo que respecta a las variables que determinan el nivel de contenidos adquirido, se aprecia una gran homogeneidad: **el contenido específico de cada una de las variables es irrelevante frente al problema resuelto considerado de forma global**. Por el contrario, aparecen diferencias importantes en lo relativo a las variables que hemos denominado metodológicas: en cada uno de los problemas evaluados, la puntuación obtenida en la **VM2: Emisión de hipótesis** y en el **VM5: Análisis de resultados**, está varios puntos por debajo de la media de todas las variables, tal como se aprecia en la Figura 7.7. Volveremos a este punto cuando comentemos los resultados obtenidos en Electricidad.

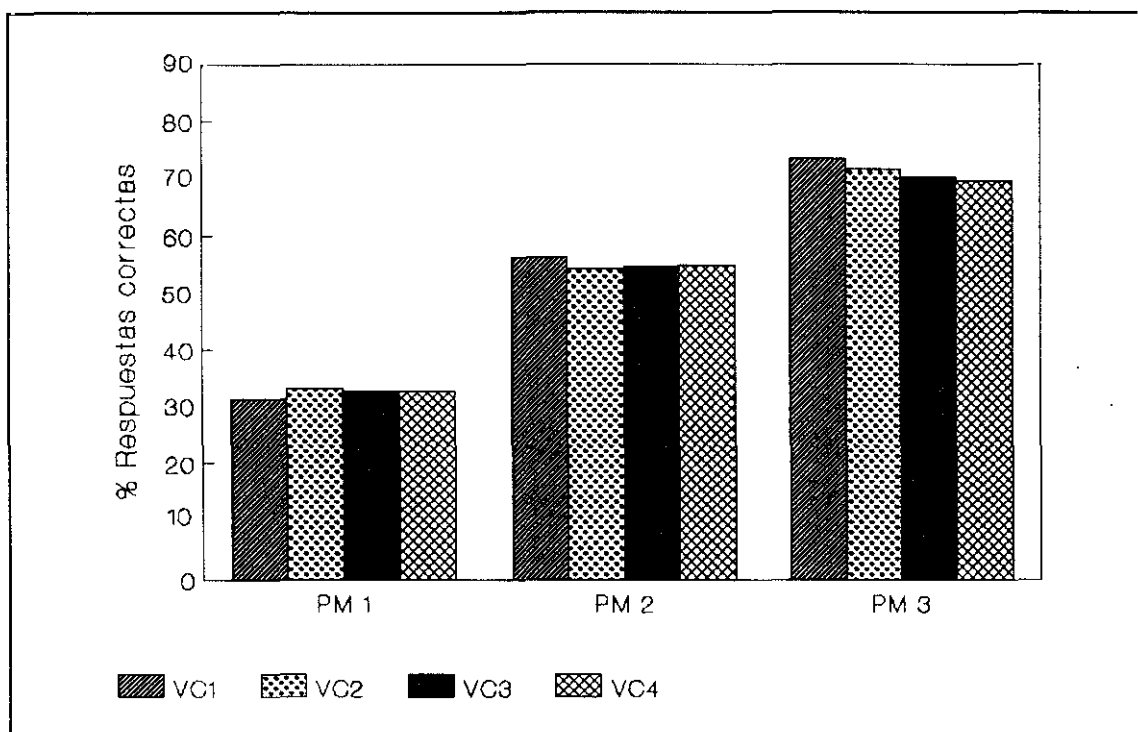


FIGURA 7.6. Evolución de las variables de contenido para los problemas de Mecánica

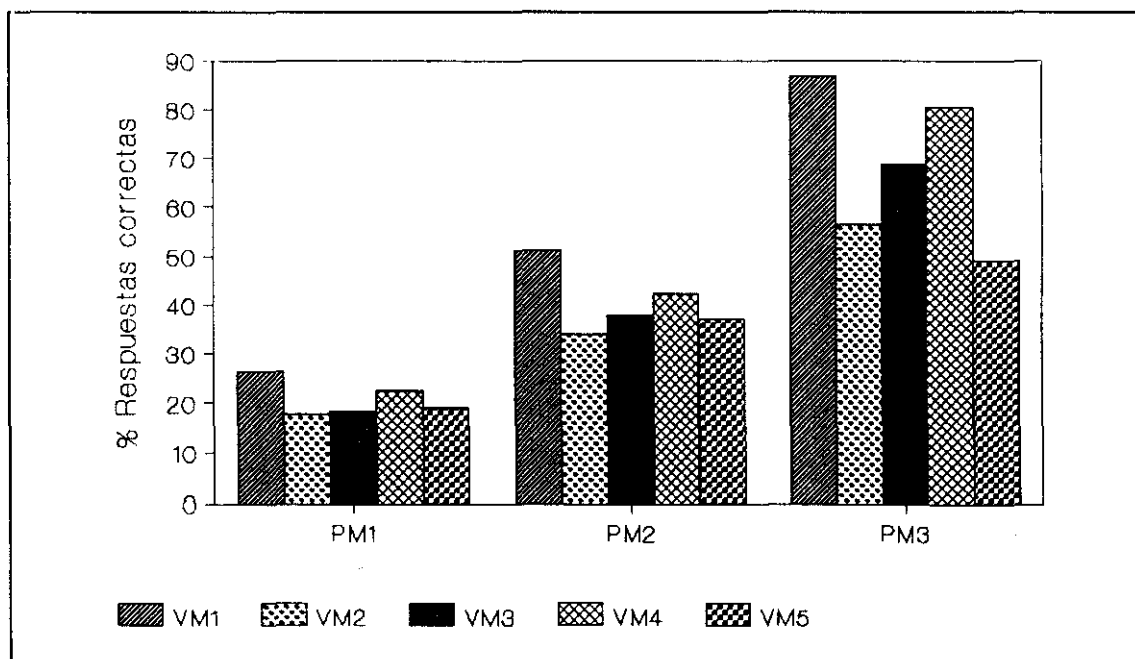


FIGURA 7.7. Evolución de las variables metodológicas para los problemas de Mecánica

ELECTRICIDAD

De forma similar al tratamiento expuesto para la **Mecánica**, presentamos ahora los datos correspondientes al campo de la **Electricidad** donde se ha evaluado a los estudiantes utilizando tres problemas de enunciado abierto que hemos denominado:

PE1: Como construir un calentador eléctrico.

PE2: El problema de la medida: amperímetros y voltímetros.

PE3: Asociación de bombillas

El desglose en **Variables de Contenido** y **Variables Metodológicas** correspondiente a estos problemas se presenta en el Apartado 7.5.2 y en el **Anexo 2** de la memoria. Los resultados, obtenidos con la misma transformación que se realizó en la **Mecánica**, aparecen en las Figuras 7.8 y 7.9.

Un análisis de las gráficas pone de manifiesto la coherencia de estos resultados con los obtenidos en el campo de la **Mecánica**. Globalmente se aprecia, para los dos grupos de variables, **una evolución positiva a lo largo del proceso**, siendo esta evolución muy homogénea para las variables de contenido. No se detecta, de nuevo, una influencia diferenciada de los contenidos específicos frente al problema, considerado en su globalidad.

La homogeneidad comentada no aparece en el campo de la metodología: las variables que miden la capacidad de los estudiantes para **VM2: Emitir hipótesis** y **VM5: Analizar resultados** vuelven a obtener puntuaciones más bajas que las otras variables metodológicas, no corrigiéndose esta tendencia al final del proceso donde se aprecia para estas destrezas resultados del orden de diez puntos por debajo de la media. Llamamos la atención sobre este punto ya que, en la

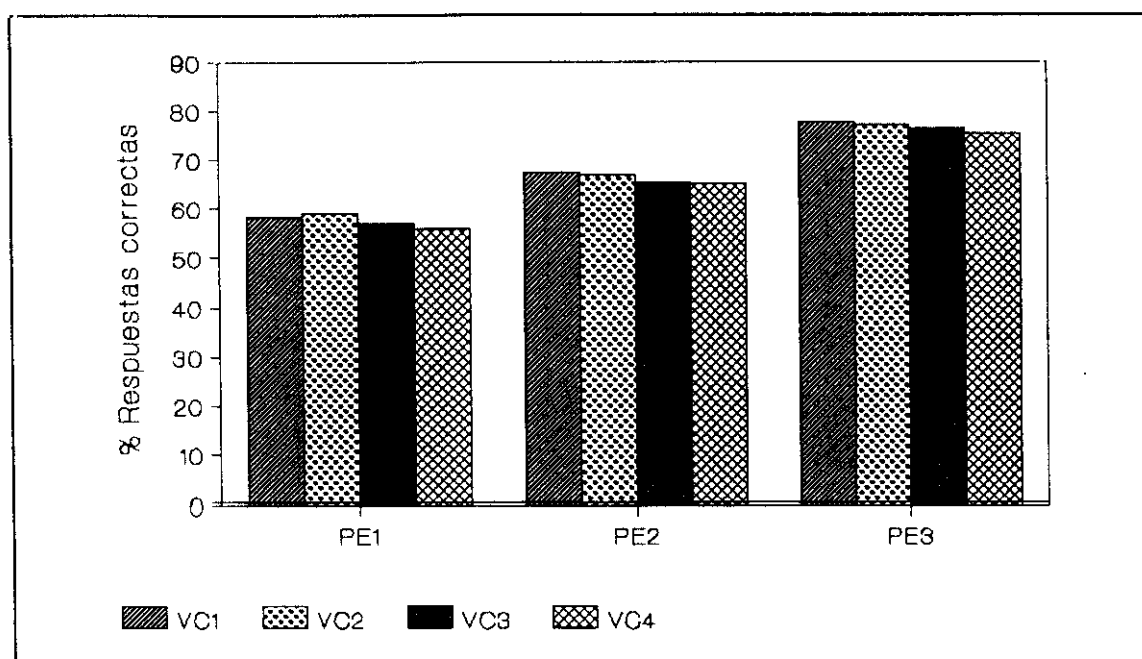


FIGURA 7.8. Evolución de las variables de contenido para los problemas de Electricidad

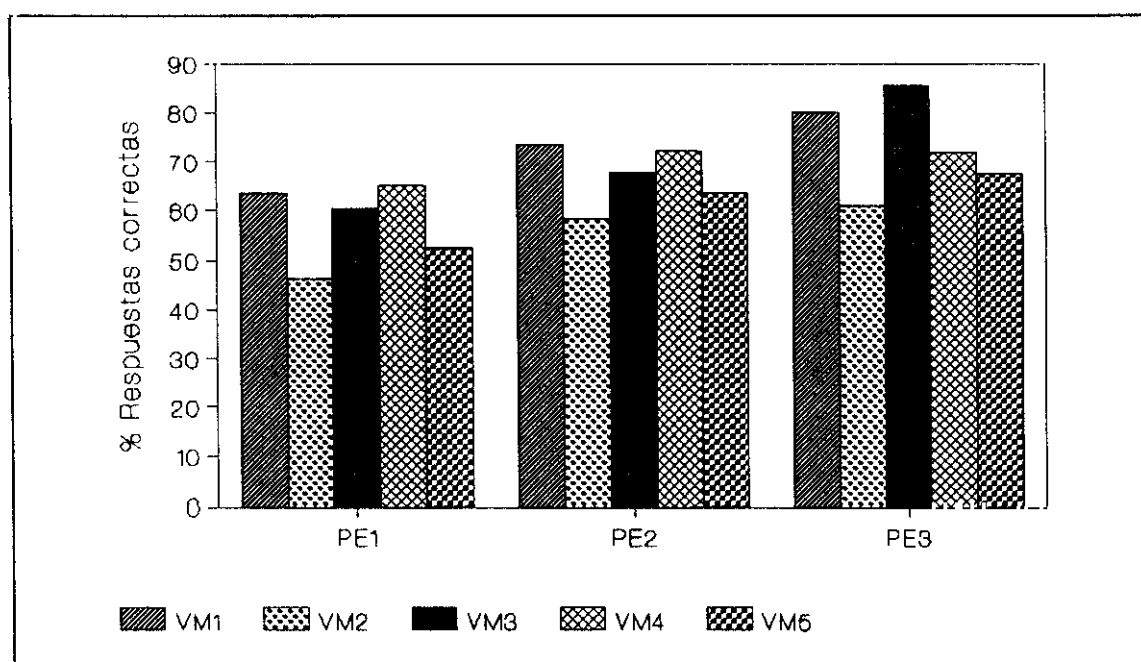


FIGURA 7.9. Evolución de las variables metodológicas para los problemas de Electricidad

justificación del modelo que presentamos en el **Capítulo 1** indicábamos la importancia de estas dos etapas del proceso, fundamentales en un planteamiento investigativo de resolución de problemas.

Vamos a traer aquí los resultados aparecidos en el Apartado 7.5.1.2 donde analizábamos las dificultades manifestadas por los estudiantes a través de las entrevistas realizadas y de la observación del trabajo en clase. Del análisis de la red sistémica correspondiente, presentada en la Figura 7.5, se desprendía que las fases de resolución con mayor índice de dificultad eran las relativas al **Análisis cualitativo del problema** y a la **Emisión de hipótesis**.

Tal como se comentó al final del citado apartado, la información obtenida fue utilizada para realimentar el proceso poniéndose, a partir de aquel momento, mayor énfasis en el entrenamiento correspondiente a estas destrezas. Los resultados de esta estrategia de trabajo en el aula, muestran que se ha conseguido un elevado nivel de eficacia a la hora de que los alumnos aprendan a realizar análisis cualitativos de la situación, fase por otra parte fundamental en la metodología de trabajo que se está proponiendo. Por el contrario, podemos considerar que en lo referente a la capacidad de los estudiantes para emitir hipótesis, aunque ha habido un avance importante, (se ha pasado de porcentajes del **18%** a porcentajes del orden del **61%** al final del proceso), los resultados siguen estando por debajo de la media obtenida para el conjunto de las variables metodológicas. Se puede concluir, que **la fase de Emisión de hipótesis** es, en términos relativos, **la que presenta mayor dificultad a los alumnos**.

Estos resultados se van a retomar cuando presentemos los datos correspondientes a la contrastación de la **Hipótesis 4**, relativa a la interacción de

las diferencias individuales en la eficacia de los individuos como resolventes de problemas.

7.5.3.2. ANALISIS GLOBAL DEL PROCESO

En este apartado vamos a analizar la evolución global, que a lo largo de todo el proceso, han experimentado los estudiantes en su capacidad de resolver problemas dentro del modelo que les ha sido propuesto. En este análisis, vamos a distinguir los resultados correspondientes al **campo de los contenidos** y al **campo metodológico** determinándose también el **nivel de verbalización** empleado en la resolución de los problemas así como el **grado de abandono** es decir, el porcentaje de alumnos que abandonan la tarea sin intentar resolverla. Todos estos datos han sido considerados relevantes en nuestro modelo de trabajo tal como se justificó en el Apartado 1.4.

- **Evolución de los resultados obtenidos en la resolución de problemas.**

A fin de poder efectuar el estudio que nos proponemos hemos definido dos nuevas variables que denominaremos **Variable Contenido media** y **Variable Metodológica media**, para cada uno de los problemas, calculadas de la siguiente manera:

$$VC_m = \sum_{j=1}^4 VC_j$$

$$VM_m = \sum_{j=1}^4 VM_j$$

Estas variables nos han permitido estudiar los resultados obtenidos en el campo de los contenidos y en el metodológico, considerando de forma global cada uno de los problemas. En las Figuras 7.10 y 7.11 representamos los datos para los seis problemas utilizados en la investigación.

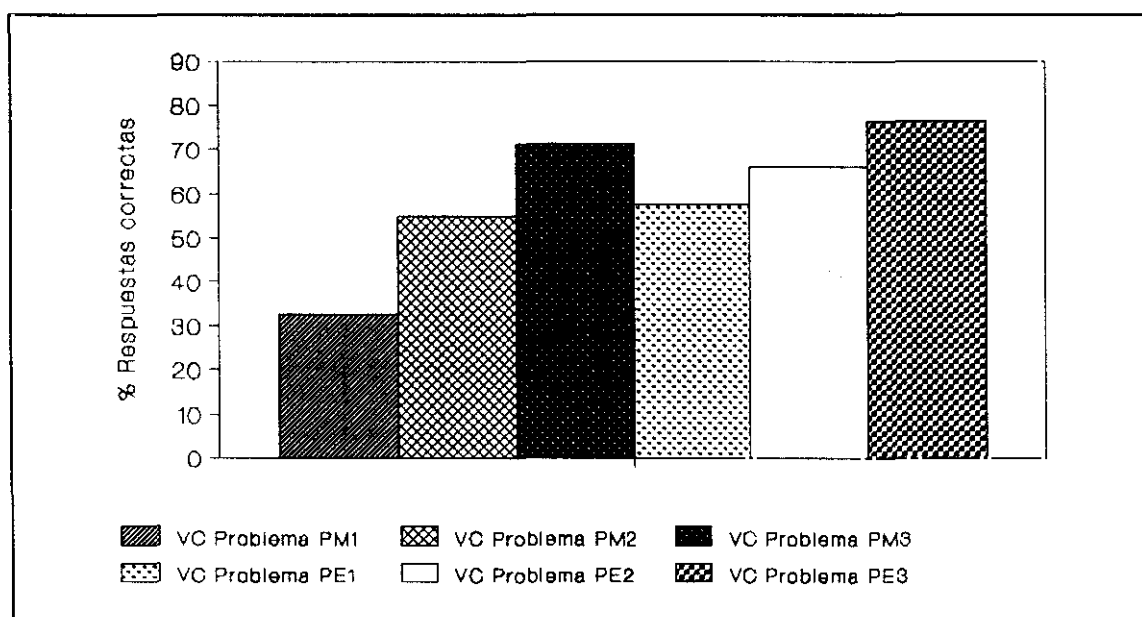


FIGURA 7.10. Evolución global de las variables de contenido a lo largo del proceso

La observación y análisis de estas figuras corroboran de forma global, nuestro supuesto de partida: se ha producido una evolución positiva a lo largo del tiempo. En el campo de los contenidos, los alumnos han experimentado una evolución global que va desde puntuaciones medias del 33% a valores del orden del 77% lo que representa un avance muy importante.

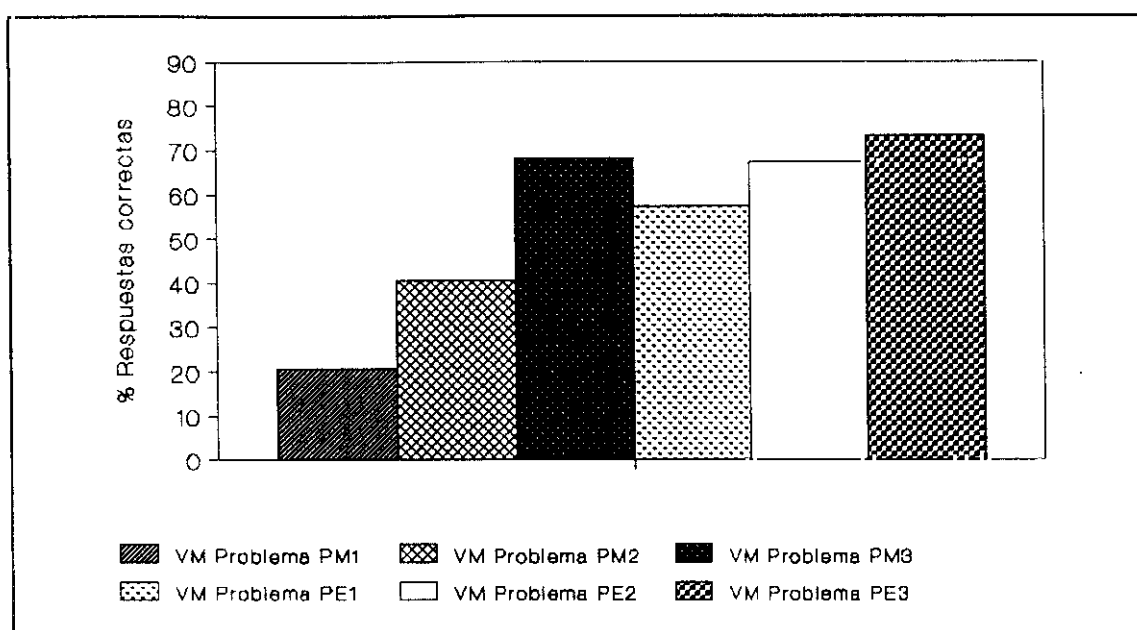


FIGURA 7.11. Evolución global de las variables metodológicas a lo largo del proceso

Los resultados obtenidos, en cuanto a una mayor eficacia para resolver problemas, coinciden con los aportados en las investigaciones realizadas por Martínez-Torregrosa (1987) y Ramírez (1990), donde los autores concluían que los alumnos de los grupos experimentales, entrenados en la metodología investigativa de resolución de problemas, obtenían resultados significativamente superiores, y de mayor calidad que los pertenecientes a los grupos control (ver Apartado 1.4).

En cuanto a la familiarización con aspectos esenciales del trabajo científico, destacaban también los citados autores que, porcentajes elevados de sus alumnos eran capaces de realizar planteamientos cualitativos, formular hipótesis, y elaborar estrategias antes de proceder a la resolución del problema; una vez resuelto el mismo pasaban a analizar críticamente los resultados. Los alumnos del grupo experimental, en nuestra investigación, han adquirido también este tipo de destrezas en porcentajes, al final del proceso, del orden del 70%. Este resultado representa una comprobación de la bondad del

método en lo relativo a aspectos relacionados con metodologías de tipo investigativo.

- **Evolución de los resultados obtenidos en el Nivel de verbalización.**

En cuanto a la evolución experimentada por los estudiantes en este campo, el resultado es sorprendente ya que, como muestran los datos que aparecen en la Figura 7.12, al comienzo de la experimentación el número de estudiantes calificados en el nivel **A1: la verbalización del proceso de resolución es escasa**, era muy alto frente a los que categorizábamos en el polo opuesto **A2: la verbalización del proceso de resolución es suficiente**, detectando en las observaciones realizadas *in situ*, una fuerte resistencia a verbalizar los razonamientos utilizados. La situación se ha ido corrigiendo claramente a lo largo del proceso, llegándose, al final del mismo, a invertir la situación inicial: 31 alumnos categorizados en el **nivel A2** frente a cinco que permanecen en el **nivel A1**.

La importancia de este avance es fundamental, tal como afirmábamos en la descripción del modelo que hacíamos en el Apartado 1.4, donde destacamos la opinión de los autores del mismo al respecto: el grupo de D. Gil hace hincapié en la necesidad de que los alumnos, de la misma forma que los científicos, verbalicen lo más posible los procesos de resolución que están realizando, alejándose como consecuencia de operativismos carentes de significado físico. **La verbalización de los procedimientos favorece en grado sumo tanto las revisiones críticas como el diagnóstico de errores.**

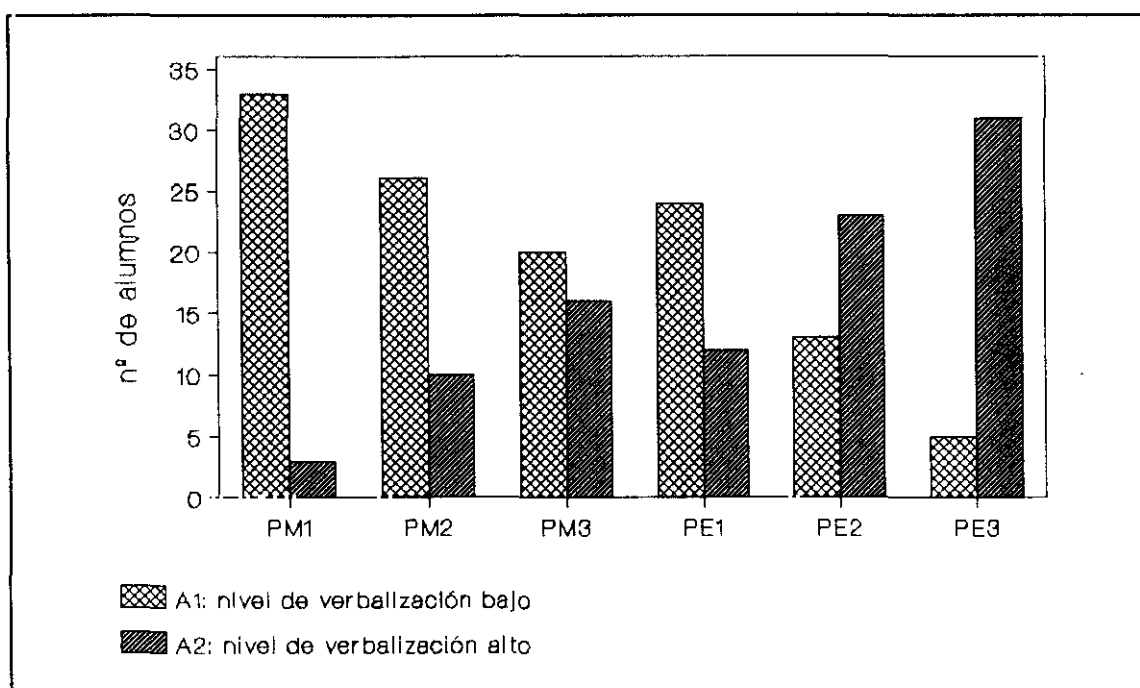


FIGURA 7.12. Evolución del nivel de verbalización a lo largo del proceso

Como conclusión, podemos decir que el **entrenamiento en la metodología propuesta ha introducido diferencias relevantes en lo que respecta al nivel de verbalización** lo que presenta, en nuestra opinión, innumerables ventajas. Así, además de las consideraciones realizadas en el párrafo anterior, el hecho de indicar claramente el marco teórico en que se desenvuelven, tiene como finalidad que ellos lleguen a asumir que, en Ciencias en general, y en Física en particular, **se trabaja siempre dentro de paradigmas previamente establecidos**. Además, la actividad de verbalización del proceso favorece en los sujetos aspectos relativos a la **metacognición** ya que, les suministra la oportunidad de reflexionar sobre los propios procesos que están realizando. Por último, una verbalización amplia del trabajo efectuado, va a permitir un **análisis detallado de los resultados** obtenidos, etapa que se considera crucial en la resolución de problemas.

- **Evolución del Grado de abandono.**

De acuerdo con el diseño de la evaluación, se ha contabilizado también el número de alumnos que abandonan la resolución de un problema determinado. Es un hecho ampliamente constatado que los estudiantes, "enfrentados a un problema", no lo "reconozcan" y abandonen sin dedicarle el tiempo necesario para solucionarlo. Los datos obtenidos a lo largo de todo el proceso aparecen en la Figura 7.13.

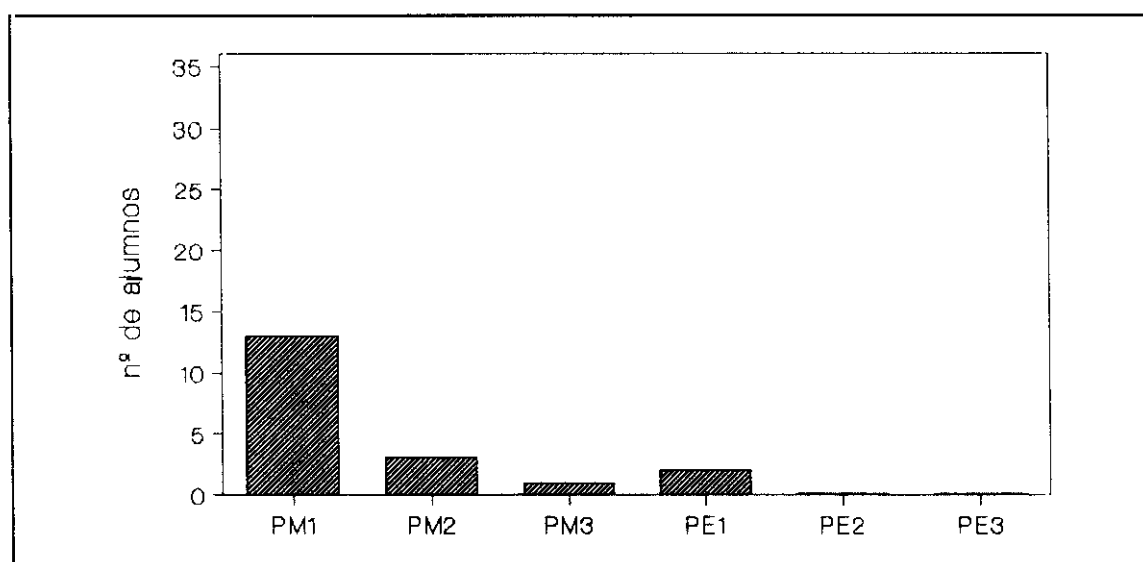


FIGURA 7.13. Evolución del grado de abandono a lo largo del proceso

De nuevo constatamos una evolución muy positiva; superados los escollos iniciales, el número de "abandonos" baja significativamente llegando a cero para los dos últimos problemas. Los autores del modelo, tal como veíamos en el Apartado 1.4., daban también importancia a este hecho destacando que los alumnos de sus grupos experimentales, dedicaban más tiempo a la resolución de

un problema antes de dejarlo, es decir superaban la actitud habitual: reconocer o abandonar.

Podemos concluir, que el hecho de que disminuya el número de abandonos es debido a que una metodología de trabajo como la propuesta en esta investigación, **suministra a los estudiantes un conjunto de herramientas utilizables antes de decidirse a abandonar la resolución de un problema.**

7.5.4. ESTUDIO SOBRE LAS ACTITUDES DE LOS ESTUDIANTES.

Tomemos como punto de partida la explicitación que, del papel de las actitudes de los estudiantes, realizamos en el Apartado 7.2 cuando desarrollamos los supuestos previos con que abordamos el trabajo dentro del aula. Para el tema que nos ocupa afirmábamos:

Una metodología de resolución de problemas de tipo investigativo, como la propuesta a los estudiantes en esta investigación, va a promover en ellos una actitud positiva hacia el aprendizaje de las Ciencias en general y hacia la resolución de problemas en particular, entendida ésta como finalidad fundamental del aprendizaje citado. El papel jugado por el profesor en este proceso es fundamental para favorecer un cambio actitudinal en los estudiantes.

Para determinar el nivel de aceptación que estamos describiendo, y siguiendo el diseño de la investigación al respecto, (ver Apartado 6.4), hemos procedido a recoger las manifestaciones de los alumnos mediante una encuesta de lápiz y papel de 12 items, contestada anónimamente por los individuos del

grupo experimental. La toma de datos tuvo lugar al finalizar el proceso de entrenamiento en resolución de problemas.

La encuesta fue diseñada alrededor de cuatro organizadores tal como describimos en su momento y que retomamos ahora para clarificar el sentido de las contestaciones dadas por los estudiantes:

i) Características de la tarea realizada -resolución de problemas abiertos- en cuanto a nivel de dificultad, facilidad para el aprendizaje de conceptos y adquisición de destrezas científicas.

ii) Incidencia sobre la autoconfianza del alumno para la resolución de problemas y su actitud hacia las Ciencias.

iii) Factores relacionados con la metodología de trabajo y el papel jugado por el profesor.

iv) Posible transposición de conocimientos a otras materias científicas y a posibles actividades fuera del aula (dominio cotidiano).

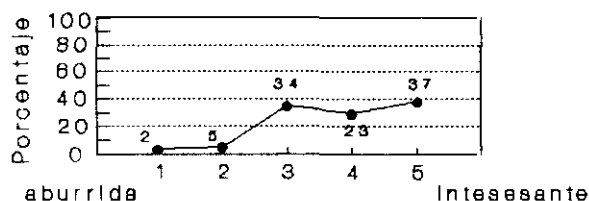
Los resultados obtenidos, indicando el porcentaje de alumnos que en cada una de las preguntas elegían una valoración determinada, se presentan en la Figura 7.14.

Vamos a realizar un análisis detallado de los resultados utilizando como organizadores de la información los cuatro puntos que hemos descrito. Para

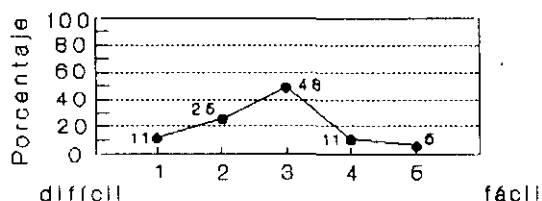
completar el análisis transcribiremos algunas de las explicaciones dadas por los alumnos en las encuestas.

Como cuestión previa indicar que el **58%** de los sujetos de la muestra tienen claro que sus estudios posteriores van a estar relacionados de forma relevante con la **Física**. Por el contrario un **19%** opinan en sentido opuesto estando el porcentaje restante de estudiantes sin definirse al respecto.

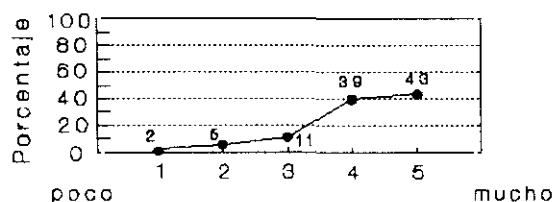
1.- La Resolución de Problemas Abiertos me ha parecido una tarea



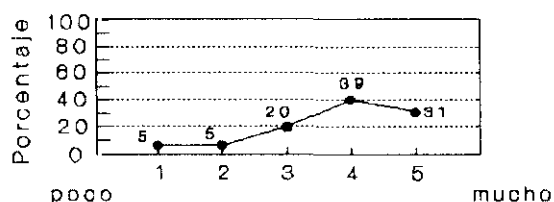
2.- La Resolución de Problemas Abiertos me ha resultado una actividad



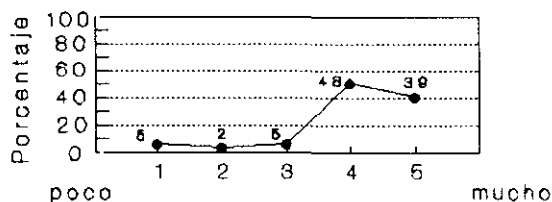
3.- La Resolución de Problemas Abiertos me ha ayudado a aprender conceptos de Física



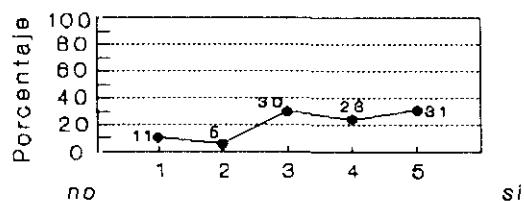
4.- La Resolución de Problemas Abiertos me ha ayudado a familiarizarme con procedimientos más científicos de trabajo



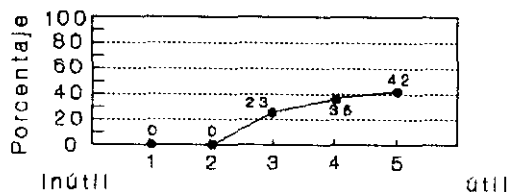
5.- La Resolución de Problemas Abiertos me ayuda a realizar problemas cerrados (tipo los que aparecen en el libro de texto)



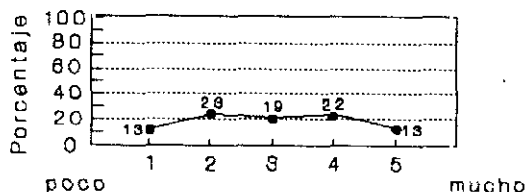
6.- Con las estrategias de resolución de problemas que he aprendido, me siento más capacitado para intentar resolver otros problemas que en principio me resultan desconocidos



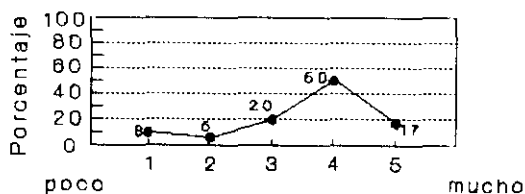
7.- ¿Cómo te ha resultado la ayuda que has recibido del profesor para aprender a resolver problemas?



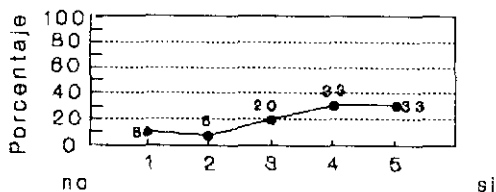
8.- El tipo de problemas que hemos resuelto, ¿te ayudará en el futuro a resolver situaciones de tu vida cotidiana (hogar, automóvil, juegos,...)?



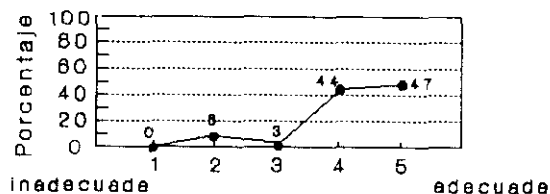
9.- ¿Crees que los procedimientos de trabajo que has practicado en la Resolución de Problemas Abiertos te van a ser útiles cuando resuelvas problemas de otras materias: Matemáticas, Química, Biología...?



10.- La forma en que hemos trabajado la asignatura, ¿te ha abierto nuevas perspectivas e interés sobre qué es la Física o las Ciencias en general?



11.- ¿Cómo te ha resultado la metodología con que se han desarrollado las clases de Física?



12.- El tipo de trabajo que hemos realizado, ¿ha aumentado tu autoconfianza para resolver problemas?

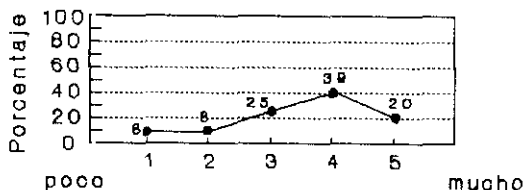


TABLA 7.14. Resultados de la prueba actitudinal

i) Características de la tarea realizada -resolución de problemas abiertos- en cuanto a nivel de dificultad, facilidad para el aprendizaje de conceptos y adquisición de destrezas científicas.

Los datos que aparecen en este punto son muy reveladores: sólo un **16%** considera que la actividad de resolver problemas de enunciado abierto le ha resultado *fácil*, frente al **36%** que la considera *difícil*. A pesar de esta opinión, un **60%** la valora como *interesante*, considerándola *aburrida* únicamente el **7%**, (items 1 y 2).

Estos datos muestran una evolución positiva si se les compara con los que presentamos en el Apartado 7.5.1 cuando analizamos las dificultades manifestadas por los estudiantes a través de las entrevistas realizadas en la mitad del proceso.

Complementando todo lo anterior, encontramos resultados altamente positivos para los **items 3, 4 y 5** relacionados con el aprendizaje: un **80%** de los alumnos creen que la mencionada tarea le ha ayudado **mucho** a aprender conceptos, un **70%** a aprender procedimientos y un **87%** a resolver problemas de enunciado cerrado, usualmente utilizados en nuestras clases. Naturalmente, los porcentajes situados en el extremo opuesto, opciones 1 y 2, son muy bajos.

Para entender porque, aunque les haya resultado difícil el trabajo realizado, pueden encontrar este modelo de resolución de problemas interesante y eficaz, presentamos algunos de los argumentos utilizados por los propios estudiantes.

Así un alumno razona: "*es una tarea difícil porque la cuestión de la generalización, es decir, buscar el problema más amplio que engloba a todos los*

demás resulta al principio complicado, pero es cuestión de adecuarse al método". Sin embargo es muy interesante porque: "Resolviendo estos problemas, el estudio teórico es mucho mayor, me parece más interesante que problemas ya concretos". En cuanto a su eficacia, un alumno comenta: " Realizar problemas abiertos y generales ayuda a comprender conceptos, las relaciones entre las magnitudes, mucho más que realizar un problema aplicando una fórmula y ya está " y otro alumno añade "es un método más amplio, y con el que trabajas mucho más el campo de la Física. Me he acostumbrado a seguir un método para resolver los problemas".

ii) Incidencia sobre la autoconfianza del alumno para la resolución de problemas y su actitud hacia las Ciencias.

En lo relativo a este aspecto, un **66%** de los sujetos reconocen que la metodología de trabajo en que han sido entrenados, ha favorecido su actitud hacia la Física en particular y hacia las Ciencias en general, estando únicamente un **13%** en el polo opuesto, **ítem 10**. En cuanto a su autoconfianza y capacidad a la hora de resolver problemas, **ítems 6 y 12**, una media del **57%** se manifiestan de forma positiva, destacando opiniones como : *"con el planteamiento de problemas más generales, creo que cuando me planteo un problema pienso más sobre lo que me pide, me ayuda a resolverlo "* o *" si porque eres capaz de estudiarlo teóricamente y avanzar el resultado para tener mayor seguridad en los resultados".*

iii) Factores relacionados con la metodología de trabajo y el papel jugado por el profesor.

En los ítems correspondientes a este punto, **ítem 7** referente al papel del profesor, e **ítem 11**, a la metodología desarrollada en el aula se han obtenido puntuaciones muy elevadas, sobre todo en el segundo ítem, donde un **91%** valoran como *adecuada* la metodología empleada y solo un **6%** se colocan en el polo opuesto. En el primero de los ítems resulta muy alentador que ninguno de los estudiantes considere *inútil* la ayuda recibida por parte del profesor, mientras que un **77%** la han considerado *muy útil*.

Presentamos a continuación las opiniones de algunos estudiantes acerca de la aceptación o no de la metodología de trabajo desarrollada a lo largo del proceso. Unos alumnos comentan: *"la metodología utilizada potencia que el alumno analice por si mismo un gran número de situaciones "*, o *" creo que con esta metodología se trabaja a la vez los conceptos y los métodos "*; otro alumno la relaciona con el trabajo de los científicos: *"muy adecuada porque creo que la metodología que hemos seguido para resolver problemas se parece bastante a la metodología científica "*. Hay opiniones que ponen el énfasis en la finalidad: *"hemos acabado aprendiendo, entonces debe ser adecuada "*, o *"hemos aprendido bastante "*, o *"es muy adecuada porque hemos aprendido todos Física, hasta los que no querían"*. En el polo opuesto las opiniones, en número muy minoritario son del tipo: *"algunas veces los métodos me han resultado inadecuados, porque me ha costado más resolver problemas abiertos que cerrados "*, o *"a veces me ha resultado un poco pesado ."*

La mayor parte de los estudiantes que han valorado altamente la metodología empleada, se han sentido muy apoyados por el profesor confirmándose así, la idea, que avanzábamos en el Apartado 6.4., de la importancia del papel que tiene éste en la eficacia conseguida dentro de las aulas.

iv) Posible transposición de conocimientos a otras materias científicas y a posibles actividades fuera del aula (dominio cotidiano).

En cuanto a la transposición a otros ámbitos, la respuesta al **ítem 8** muestra que, el porcentaje de estudiantes que contesta de forma positiva es de un **45%** frente al **36%**, dato en nuestra opinión elevado, que no ven la relación del trabajo realizado con situaciones cotidianas. El panorama cambia favorablemente cuando se habla de transferir lo aprendido en **Física** a otras asignaturas, **ítem 9**. En este caso un **67%** opinan que los procedimientos adquiridos van a serles **muy útiles** en Química, Matemáticas etc, siendo sólo un **13%** los que se sitúan en el polo opuesto.

Destacaremos en este punto los comentarios de los alumnos, una tercera parte, que no ven relación entre el aprendizaje realizado y las situaciones reales fuera del aula ya que, este dato nos ha sorprendido desfavorablemente. Apuntaremos también las opiniones de los que no ven posibilidad de transferirlo a otros dominios de aprendizaje científico.

Para el primer aspecto, los argumentos han sido: *"en la vida no sueles calcular con exactitud las variables de un problema que te encuentras"*, o *"estos problemas tienen difícil relación con situaciones de la vida cotidiana"*, o *"la realidad se parece poco a la teoría"*. En cuanto al segundo aspecto, nos encontramos con afirmaciones como las siguientes: *"no tiene nada que ver, en el resto de asignaturas no te piden este tipo de problemas"*, o *"creo que son muy diferentes unas materias de otras"*, o *"me va a ayudar poco porque son diferentes problemas y situaciones, en las que no importa mucho el planteamiento teórico"*. De estas aportaciones podemos deducir que, en porcentajes apreciables, no hemos conseguido que los estudiantes relacionen de forma relevante las

situaciones planteadas dentro del aula con los problemas reales fuera de ella, defecto éste muy generalizado en nuestra práctica educativa y que cualquier método que quiera renovar dicha práctica tendría que tratar de corregir.

Una valoración global de los datos obtenidos, muestra que las opciones más favorables, extremos 4 y 5 del diferencial han sido escogidas como media en un **68%** de las respuestas. El extremo más negativo del diferencial, puntuaciones 1 y 2, no es escogido nunca por más del **14%** de los encuestados. Estos valores son muy superiores a los obtenidos en pruebas similares realizadas con alumnos inmersos en modelos de enseñanza de tipo expositivo.

Como síntesis de estos resultados podemos afirmar que se ha visto cumplido nuestro supuesto de trabajo en lo referente a aspectos actitudinales es decir, **metodologías de resolución de problemas** como la que se ha desarrollado en el marco de nuestra investigación, en que los estudiantes entran en contacto, no solo con el profesor, sino con los otros compañeros, en situaciones y contextos diversos, contrastando ideas, emitiendo hipótesis, valorando resultados etc. **ha incidido en una actitud favorable hacia la tarea de resolver problemas, en el marco general del aprendizaje de las Ciencias.**

7.6. PRIMERAS CONCLUSIONES

A lo largo de este capítulo hemos llevado a cabo una descripción de todo el proceso de entrenamiento de los estudiantes realizado bajo dos supuestos que, a modo de hipótesis, han orientado el trabajo dentro del aula. El análisis de los resultados obtenidos nos ha permitido ir sacando las siguientes conclusiones:

- **Acerca de las estrategias de metaaprendizaje desarrolladas por los alumnos.**

El trabajo dentro del aula se ha desarrollado en el marco teórico de la **investigación-acción** realizándose entrevistas individuales encaminadas a realimentar el proceso, al mismo tiempo que favorecían en los estudiantes, estrategias de metaaprendizaje.

El análisis de las redes sistémicas construidas a partir de la información obtenida nos ha llevado a deducir lo siguiente:

-Las mayores dificultades manifestadas por los alumnos, hacia la mitad del proceso, eran las relacionadas con el Análisis del problema y la Emisión de hipótesis. El hecho de que sólo un 16% reconozca la dificultad de la fase de **Análisis de resultados** es debido, en nuestra opinión, al desconocimiento por parte de los estudiantes, de lo que realmente constituye esta destreza.

- Sólo la mitad de los individuos dependientes reconoce utilizar alguna estrategia de resolución determinada y mayoritariamente **no realizan emisión de hipótesis ni análisis de resultados**. En contraposición, los **alumnos independientes de campo**, en un porcentaje del 88%, reconocen todas las fases que es recomendable asumir a la hora de resolver los problemas. Destaca también que el mismo porcentaje, realiza emisión de hipótesis -relacionada íntimamente con el control de variables- y análisis de resultados, etapas fundamentales en el modelo que hemos desarrollado.

- La tarea realizada ha resultado altamente motivadora, con independencia de las características individuales de los estudiantes y a pesar del nivel de dificultad manifestado por ellos.

● Acerca de la evolución de los estudiantes en su capacidad para resolver de problemas.

La investigación en este punto, se planteó a partir del siguiente supuesto: **Una metodología de resolución de problemas de tipo investigativo**, como la propuesta en este estudio, **va a conseguir una evolución positiva en la capacidad de resolver problemas por parte de los alumnos**. Los resultados obtenidos nos lleva a concluir lo siguiente:

Análisis centrado en las áreas

- Dentro de cada una de las áreas, y en lo que se refiere a las **variables de contenido**, la evolución comentada **ha sido muy homogénea** no detectándose, en consecuencia, influencia de los contenidos específicos de cada una de las variables frente al problema resuelto, considerado de forma global.

- En cuanto a las **variables** que hemos llamado **metodológicas**, relacionadas directamente con las etapas del modelo de resolución en que los estudiantes han sido entrenados, se aprecian evoluciones diferenciadas. En las dos áreas investigadas, **la emisión de hipótesis** y el **análisis de resultados**, etapas fundamentales en un planteamiento de corte investigativo, **son las que, relativamente, han experimentado una evolución menor.**

- **Los procesos de realimentación** puestos en marcha como consecuencia de las entrevistas realizadas, se han mostrado muy eficaces en cuanto a su capacidad para reconducir las dificultades detectadas. Así, las etapas de **análisis del problema** y **emisión de hipótesis**, que se habían detectado como las de mayor dificultad, han sufrido una evolución positiva aunque en menor rango la citada en segundo lugar. Este dato, en unión al comentado en el punto anterior, nos lleva a concluir que la fase de **emisión de hipótesis** es, **en términos relativos, la que presenta mayor dificultad a los alumnos.** Volveremos a este punto cuando comentemos los resultados obtenidos en la contrastación de la Hipótesis 4.

Análisis global del proceso.

- En el estudio realizado de forma global, los resultados obtenidos muestran que se ha producido **una evolución positiva a lo largo del tiempo**, con una ligera inflexión cuando se ha cambiado de área científica. En las variables que miden los contenidos, se ha producido un avance medio de cuarenta y cuatro puntos y en las que determinan conocimientos de tipo metodológico, las puntuaciones han sufrido incrementos del orden del 50%.

- En lo relativo al nivel de verbalización, el entrenamiento en la metodología propuesta ha introducido diferencias relevantes a la hora de resolver problemas: **el 86% de los estudiantes son capaces de verbalizar los procedimientos realizados con un nivel aceptable**, lo que favorece enormemente las revisiones críticas, además de promover estrategias de metaaprendizaje suministrándoles la oportunidad de reflexionar sobre los propios procesos que están realizando.

-Para terminar, resaltar que **ha disminuido sensiblemente el número de estudiantes que abandona la tarea**, poniendo de manifiesto que el entrenamiento realizado, suministra a los estudiantes un conjunto de herramientas que pueden utilizar antes de decidirse abandonar la resolución del problema.

- **Acerca de las actitudes de los estudiantes.**

En este campo, hemos trabajado bajo el siguiente supuesto: un entrenamiento como el realizado por la muestra objeto de la investigación **va a promover en los alumnos una actitud positiva hacia el aprendizaje de las Ciencias en general y hacia la resolución de problemas en particular**, entendida ésta como finalidad fundamental del aprendizaje citado. El papel jugado por el profesor en este proceso es fundamental para favorecer un cambio actitudinal en los estudiantes.

Los resultados obtenidos al final del proceso en lo que respecta a las actitudes de los estudiantes han sido los siguientes:

- En lo relativo a las características de la tarea realizada, el **36%** de los estudiantes le ha resultado *difícil* a pesar de lo cual, el **60%** la ha valorado como *interesante*. Complementando estos datos, se ha encontrado que, por término medio, el **80%** considera que la metodología de resolución de problemas de enunciado abierto, **ha favorecido su aprendizaje de conceptos, de procedimientos** y lo que es muy interesante de cara a su futuro como estudiantes de Ciencias, **a resolver problemas de enunciado cerrado** como los usualmente propuestos en nuestras aulas.

Esta percepción detectada por los estudiantes sobre su proceso de aprendizaje, ha sido corroborada en el proceso de contrastación de las hipótesis de la investigación, tal como mostraremos en el **Capítulo 8**, donde se comprobará que los alumnos del grupo experimental, han conseguido un cambio conceptual estadísticamente significativo.

- En relación a la metodología de trabajo desarrollada dentro del aula y el papel desempeñado por el profesor los resultados son altamente positivos: un **91%** de los encuestados han valorado la metodología en el aula como *adecuada* y el **77%** consideran *útil* la ayuda recibida del profesor, quedando comprobado, por tanto, la influencia que los profesores ejercen sobre los estudiantes a la hora de favorecer el aprendizaje.

- Por último, el análisis de resultados ha mostrado que un porcentaje relevante, el **45%**, no ven relación entre la información obtenida en el aula y las situaciones de la vida cotidiana, dato este preocupante ya que era una finalidad implícita de los problemas que se han planteado a lo largo de todo el proceso.

Por el contrario, los resultados son alentadores en lo relativo a la posible transferencia de los conocimientos adquiridos a otros campos de la Ciencia; Química, Matemáticas etc. **El 67% de los alumnos admite esta posibilidad de transferir lo aprendido.**

Como conclusión final podemos afirmar que, la metodología empleada ha incido en **generar actitudes favorables hacia la tarea de resolver problemas,** dentro del aprendizaje de la Física.

CAPITULO 8

ANALISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS

8.1. INTRODUCCION.

En el capítulo anterior hemos presentado los **primeros resultados** obtenidos a lo largo del proceso llevado a cabo para entrenar a los estudiantes en un modelo investigativo de resolución de problemas de enunciado abierto. En éste, presentamos el **análisis y discusión de resultados** obtenido en la contrastación de las cuatro hipótesis que hemos planteado en el diseño de la investigación.

La primera hipótesis, hacía referencia a la influencia que un tratamiento como el efectuado, va a tener en el posible **cambio de esquemas conceptuales -Mecánica y Electricidad-** producido en el **grupo experimental**. En la **Hipótesis 2** se introducía la posibilidad de que este cambio fuera significativamente superior que el producido en alumnos del **grupo control**, que han trabajado con una metodología tradicional de resolución de problemas de enunciado cerrado.

Las **Hipótesis 3 y 4** han tenido como finalidad estudiar, en el grupo experimental, la interacción que las **variables cognitivas** (dependencia-independencia de campo y nivel de desarrollo formal) y el **sexo**, iban a tener sobre el citado **cambio conceptual** y sobre la eficacia de los individuos a la hora de **resolver problemas abiertos de Física**, en un contexto escolar.

8.2. CONSIDERACIONES PREVIAS: CATEGORIAS DE VALORACION DE LOS ESQUEMAS CONCEPTUALES.

Tal como describimos en el Apartado 6.4.2, las diferentes fases de evaluación de los esquemas conceptuales de los alumnos se llevaron a cabo mediante una serie de pruebas de lápiz y papel que han quedado incluidas en el **Anexo 1**. Para la valoración de estas pruebas definimos tres niveles de contestación - **Nivel 1, 2 y 3**- para poder categorizar las contestaciones de los estudiantes. Estos niveles fueron los siguientes:

Nivel 1. Los alumnos se han categorizado en este nivel cuando presentan contestaciones no coherentes para las distintas tareas que, dentro de cada uno de los esquemas conceptuales, se les ha presentado. Sus contestaciones dependen en gran medida del contexto en que se emiten siendo, desde el punto de vista de la Física, claramente erróneas.

Nivel 2. Corresponde a los estudiantes que poseen una idea alternativa que aplican con cierto grado de coherencia cuando resuelven las distintas tareas que se les presentan. Las explicaciones que aparecen en sus respuestas concuerdan con esta idea.

Nivel 3. Los alumnos clasificados dentro de este nivel son aquellos cuyas contestaciones las podemos considerar científicamente aceptables dentro de las limitaciones pertinentes: problemas de lenguaje, aproximaciones escolares a la Ciencia, etc...

En este apartado vamos a presentar, clasificados por áreas, los tres niveles para cada uno de los esquemas explorados, comenzando, para mayor clarificación por el nivel más alto de respuesta.

MECANICA

M.1. CAIDA LIBRE DE LOS CUERPOS.

Las características de cada uno de los niveles para este esquema conceptual son:

Nivel 3: Alumnos que tienen asumido el hecho de que el movimiento de los cuerpos dentro del campo gravitatorio no depende de la masa de los mismos: lanzados hacia arriba, con la misma velocidad llegarán a la misma altura. Cuando descienden en caída libre, los espacios recorridos son directamente proporcionales a los tiempos al cuadrado y si comienzan a moverse simultáneamente, los objetos permanecerán en posiciones paralelas durante todo el recorrido.

Nivel 2: Los estudiantes consideran la masa de los cuerpos un factor influyente: "*lanzados hacia arriba, la masa mitad subirá el doble de altura*". Cuando se dejan caer simultáneamente dos cuerpos, uno de masa doble que el otro, el de mayor masa bajará "*doblemente deprisa*" y por lo tanto adelantará sensiblemente al de masa menor. Los dibujos que realizan para este caso son del tipo presentado en la Figura 8.1.

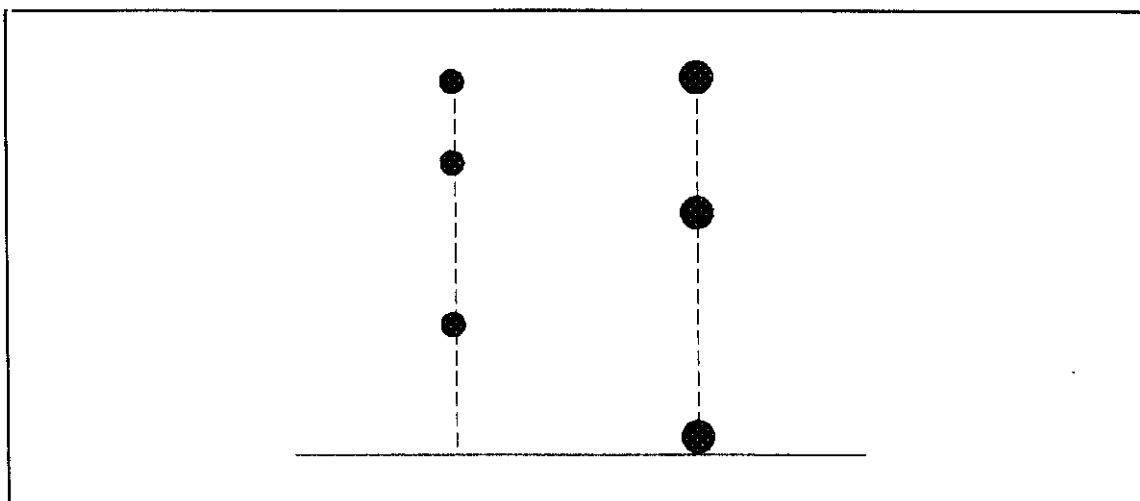


FIGURA 8.1. Esquema alternativo sobre la caída de los cuerpos.

Nivel 1: Los alumnos introducen la masa como variable en sus contestaciones, pero no llegan a ningún resultado concluyente. Utilizan razonamientos diferentes en el caso de que los cuerpos suban o bajen.

M.2. PRINCIPIO DE ACCION Y REACCION.

Los niveles establecidos para las contestaciones de los estudiantes en este esquema conceptual son:

Nivel 3: Alumnos que aplican correctamente el tercer principio de la Mecánica newtoniana tanto para cuerpos en reposo como para cuerpos en movimiento independientemente de las características que presenten. Reconocen también el hecho de que la interacción pueda producirse a distancia.

Nivel 2: Los estudiantes categorizados en este nivel reconocen que existen dos fuerzas cuando se produce una interacción, pero tienen problemas para asumir el carácter simétrico de la tercera ley de Newton realizando, cuando tienen que aplicar esta ley, un tratamiento diferente para las situaciones de reposo que para las de movimiento.

Nivel 1: Los alumnos no reconocen que la fuerza es la medida de la interacción entre dos cuerpos y como consecuencia siempre que haya una fuerza aplicada sobre un cuerpo, tiene que aparecer la reacción a ésta. Piensan que solo efectúa fuerza el cuerpo "*mayor* " sobre el "*menor* ", concretamente para la prueba presentada en la evaluación inicial (ver la Figura 3 del **Anexo 1**), la Tierra actúa sobre la manzana atrayéndola, el imán sobre el clavo, el bloque de mayor masa sobre el de menor, pero no al revés.

M.3. RELACION ENTRE FUERZA Y MOVIMIENTO.

Vamos a presentar dos casos diferenciados de acuerdo con el tipo de trayectoria seguida por el móvil.

M.3.1. CUERPOS MOVIENDOSE SOBRE TRAYECTORIAS RECTILINEAS

Los niveles asignados según las contestaciones han sido:

Nivel 3: Alumnos que dibujan las fuerzas correctamente por lo menos en el 90 % de los casos. En la prueba del señor descendiendo en paracaídas (ver Figura 9 del

Anexo 1), bastaría que reconocieran que cuando alcanza una velocidad constante, la resultante de las fuerzas vale cero, ya que la situación anterior es excesivamente compleja para ellos.

Nivel 2: Estudiantes que afirman la necesidad de que exista siempre una fuerza paralela a la velocidad del móvil. Esto les lleva a contestar acertadamente en situaciones sencillas donde efectivamente el cuerpo se mueve en el sentido de la fuerza aplicada, pero cometen errores cuando la situación es "engañosa", como por ejemplo los casos que aparecen en las Figuras 8.2 y 8.3.

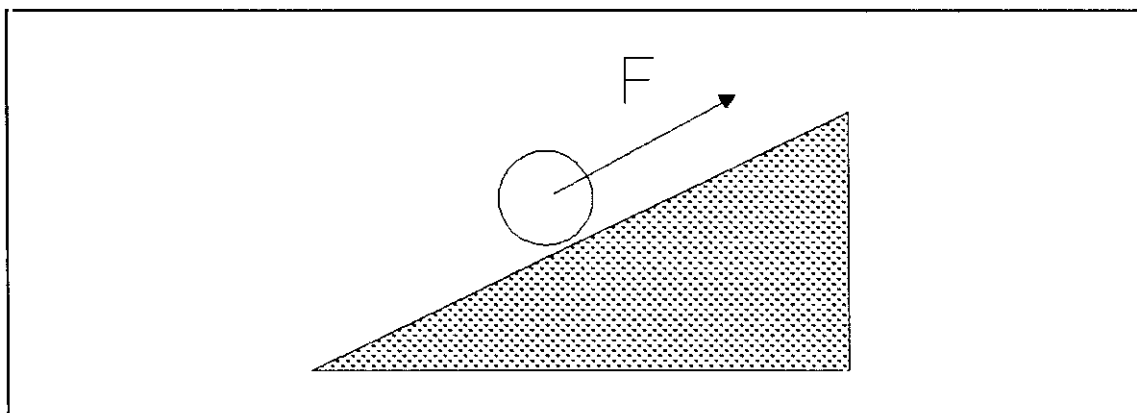


FIGURA 8.2. Esfera lanzada por un plano inclinado (sin rozamiento)

Nivel 1: Alumnos cuyas contestaciones son incoherentes para las diferentes pruebas presentadas. En general adjudican una fuerza "innata" al cuerpo que se mueve. Si el movimiento es desacelerado la fuerza va "*consumiéndose*" hasta desaparecer.

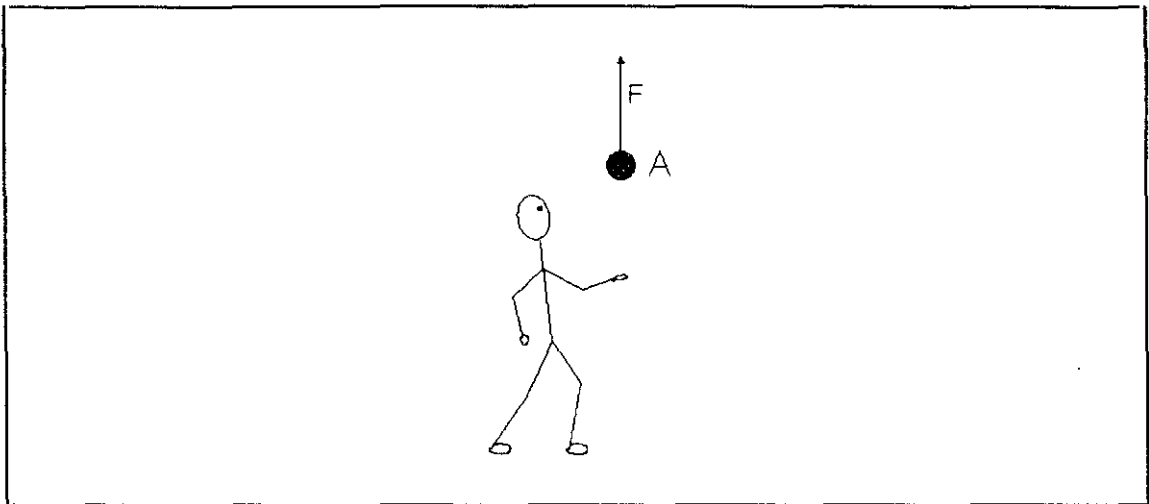


FIGURA 8.3. Cuerpo lanzado hacia arriba

M.3.2. CUERPOS MOVIENDOSE SOBRE TRAYECTORIAS CURVILINEAS

Los niveles asignados según las contestaciones son:

Nivel 3: Alumnos que dibujan únicamente las fuerzas reales que actúan: peso en la Tierra, fuerza gravitatoria Tierra-Sol, tensión de la cuerda.... Cuando el cuerpo tiene una velocidad inicial perpendicular a la fuerza que va a actuar, reconocen la trayectoria parabólica descrita por el mismo.

Nivel 2: Los estudiantes categorizados en este nivel dibujan una fuerza inexistente paralela a la velocidad, junto con el resto de las fuerzas que están actuando sobre el cuerpo en estudio. Esta idea alternativa lleva a escoger en las pruebas correspondientes las opciones que aparecen en las Figuras 8.4, 8.5 y 8.6.

La idea alternativa, fuerza en la dirección de la velocidad, coincide con la que aparece en el Nivel 2 del esquema estudiado anteriormente.

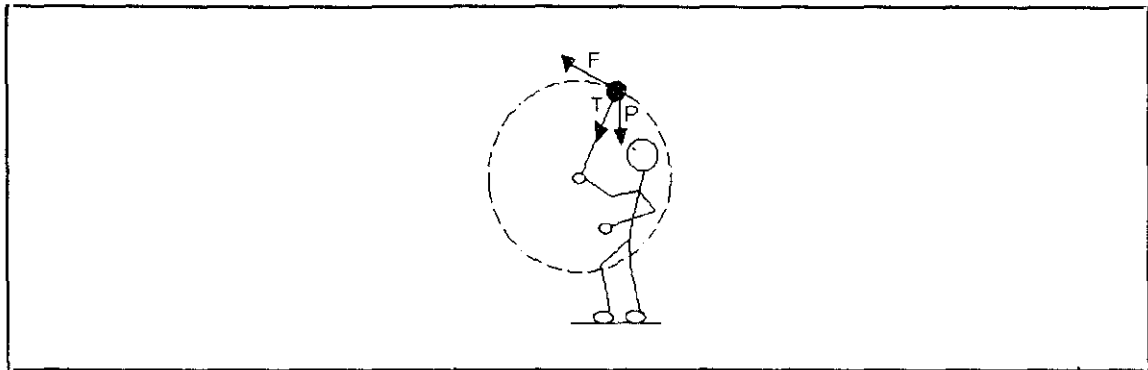


FIGURA 8.4. Cuerpo girando en un plano vertical

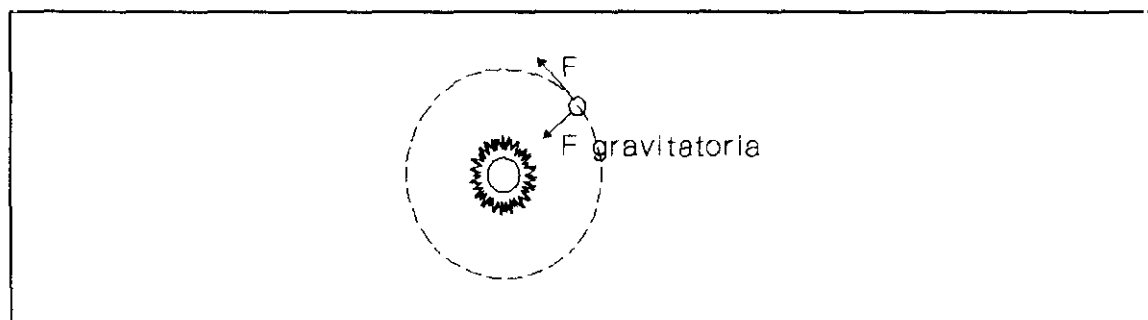


FIGURA 8.5. La Tierra girando alrededor del Sol

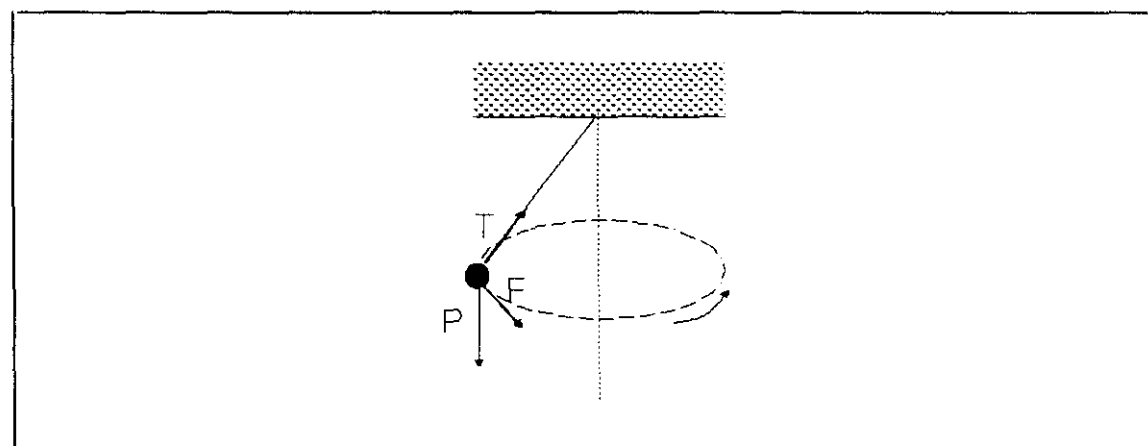


FIGURA 8.6. Péndulo cónico

Nivel 1: A esta categoría pertenecen los estudiantes que sostienen la idea de que la fuerza resultante tiene que ser paralela a la velocidad lo que les lleva a

introducir, si hace falta, una *fuerza centrífuga* que equilibre a la fuerza centrípeta. Así para el caso del movimiento en una circunferencia vertical o la Tierra girando alrededor del Sol, las opciones escogidas son las que aparecen en las Figuras 8.7 y 8.8.

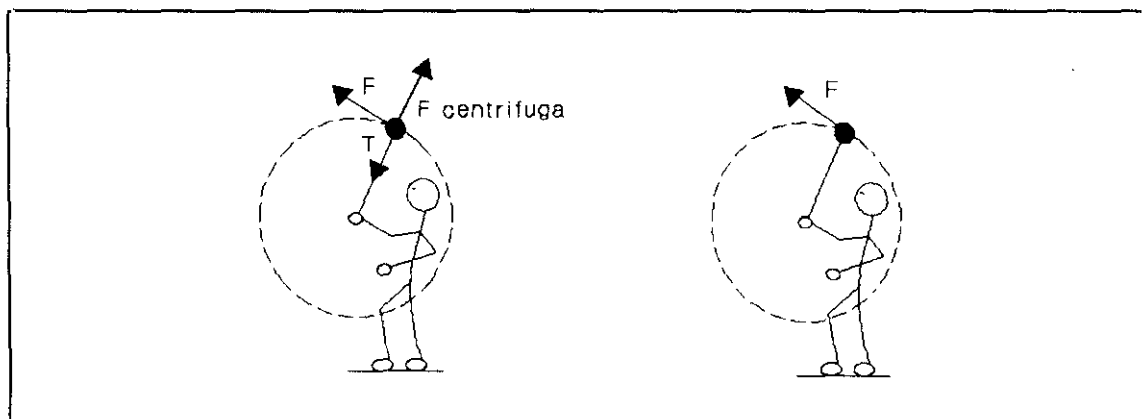


FIGURA 8.7. Cuerpo girando en un plano vertical

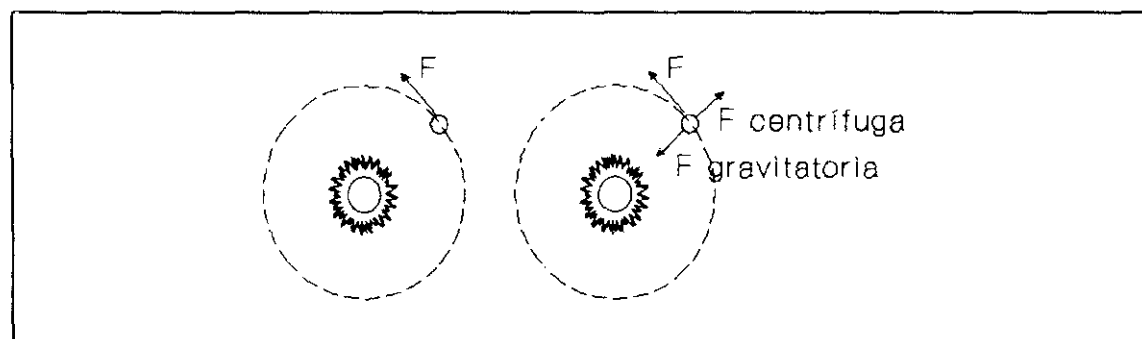


FIGURA 8.8. La Tierra girando alrededor del Sol

Cuando el cuerpo lleva una velocidad inicial, que no va a coincidir con la dirección del movimiento, no reconocen la existencia de ésta y dibujan únicamente la fuerza en la dirección del movimiento. Por ejemplo, para el señor que quiere meter la bola en el agujero, la opción escogida es la representada en la Figura 8.9.

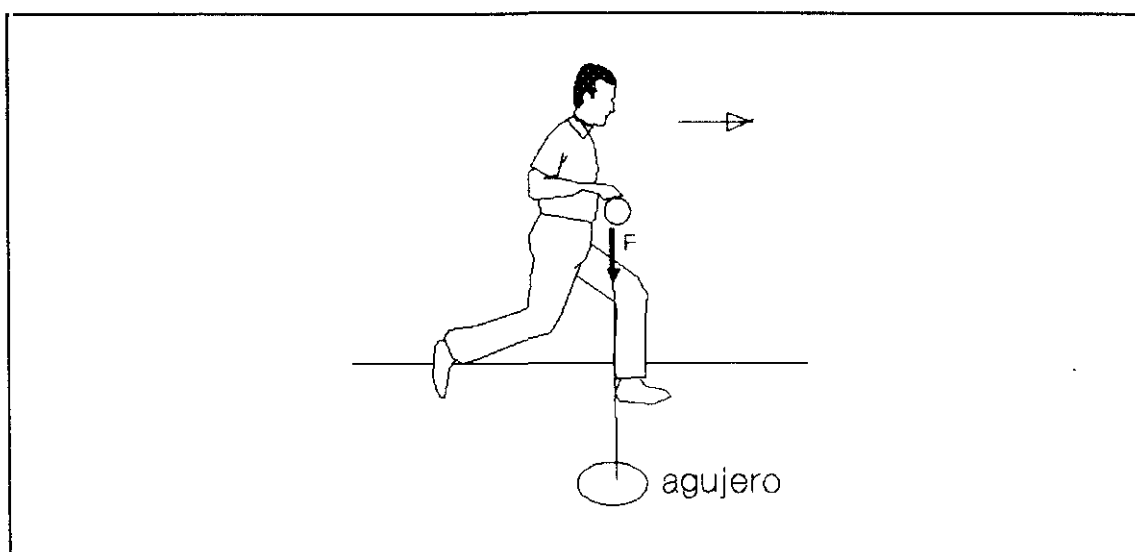


FIGURA 8.9. Señor intentando meter una bola en un agujero

M.4. PRINCIPIO DE CONSERVACION DE LA ENERGIA.

Para este esquema conceptual los niveles han quedado establecidos de la siguiente manera:

Nivel 3: Alumnos cuyas respuestas están fundamentadas en ideas aceptables sobre la conservación de la energía haciendo incluso alusión a que en las transformaciones energéticas hay una parte de energía que se transforma en energía térmica debido al rozamiento. Este tipo de alusiones solo las realiza un porcentaje pequeño de estudiantes y fundamentalmente en situaciones de balance de energía mecánica.

Nivel 2: Alumnos que aplican para contestar la cuestión que se les plantea algún tipo de conservación, que no tiene que ser necesariamente la conservación de la energía. Cuando aplican el principio de conservación de la energía no tienen en

cuenta el hecho de que en las transformaciones reales, una parte de la energía inicial se transforma en energía térmica no aprovechable. Por ejemplo en la cuestión presentada en la Figura 8.10, los estudiantes indican que la bola subirá hasta la misma altura, o hasta que recorra el mismo espacio...

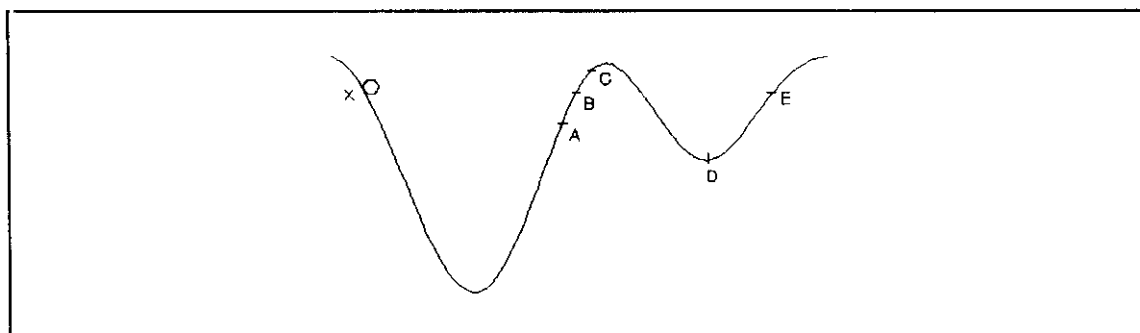


FIGURA 8.10. Bola cayendo por un carril

En la prueba del "Camión de Miky" (ver Figura 15 del **Anexo 1**), llegan a la conclusión que el camión tendrá siempre la misma energía debido precisamente a que ésta se conserva y en la prueba del "Cambio Imposible" todos los cambios son precisamente "imposibles" por aplicación del principio de conservación de la energía.

Nivel 1: Alumnos que en general no aplican la conservación de la energía para resolver la tarea que se les presenta incluso no razonan, si no se les pide expresamente, en términos de energía sino que hablan de fuerzas, calor, gravedad... o aportan razonamientos basados en su experiencia y observación.

ELECTRICIDAD

E.1. CONSERVACION DE LA CORRIENTE ELECTRICA.

Los niveles correspondientes han quedado definidos de la siguiente forma:

Nivel 3: En este nivel quedan incluidos los estudiantes que asumen la conservación de la corriente tanto en circuitos simples (con una pila y una bombilla) como en circuitos más complejos (varias pilas y bombillas en serie o paralelo). Como consecuencia de ello, dos bombillas idénticas por las cuales pasa la misma corriente eléctrica brillarán igual.

Nivel 2: La idea alternativa de que la corriente se va "gastando" a lo largo del circuito lleva a afirmar que la corriente después de pasar por una bombilla es menor que antes de llegar a ella. En circuitos con varias bombillas las "más alejadas" en el sentido de circulación de la corriente brillarán menos. Por ejemplo, en el circuito que aparece en la Figura 8.11 los estudiantes aseguran que la lámpara **L2** brilla menos (algunos opinan que la mitad) que la **L1** y que los amperímetros irán marcando menos de forma sucesiva.

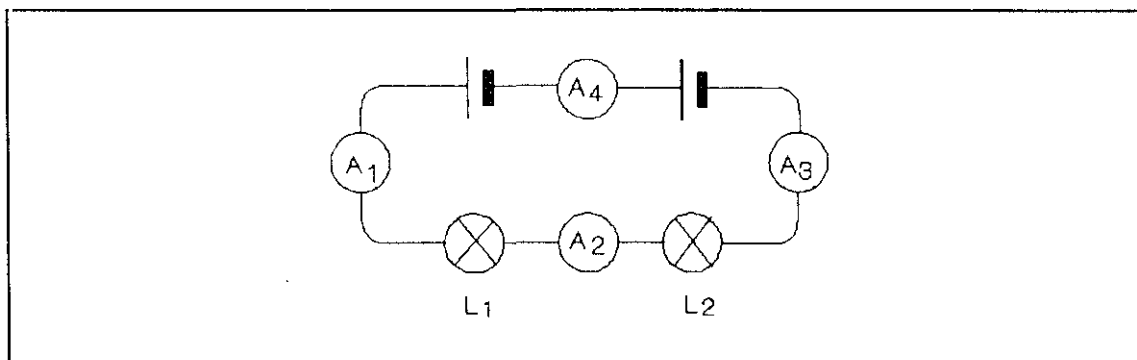


FIGURA 8.11. Circuito serie para explorar la conservación de la corriente eléctrica

Nivel 1: Los alumnos tienen un modelo muy poco elaborado sobre como circula la corriente eléctrica en un circuito, así en la prueba presentada en la Figura 8.12 se inclinan o bien por el **modelo A** (fuente → consumidor) o por el **modelo B** (concurrente o classing). Para la prueba que comentábamos anteriormente los amperímetros **A2** y **A4** marcarán cero debido a que las corrientes producidas por ambas pilas se anularán en esos puntos del circuito.

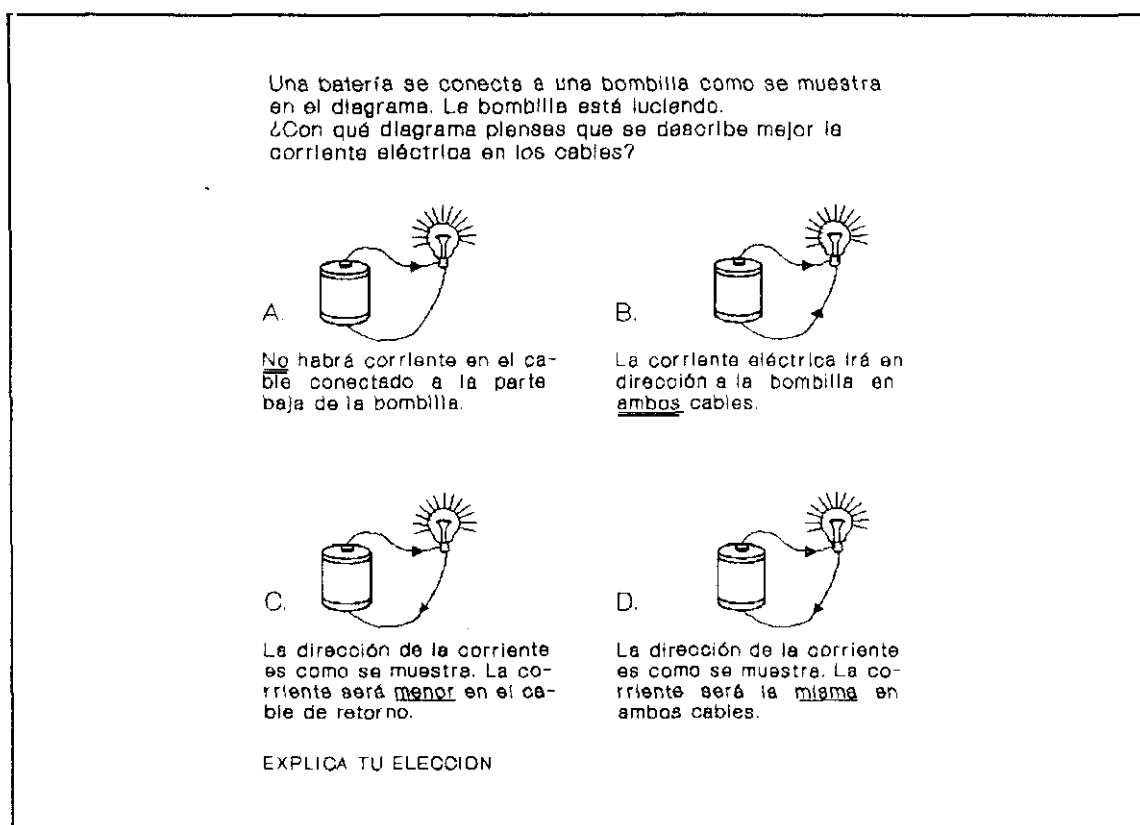


FIGURA 8.12. Modelos sobre la corriente eléctrica en circuitos simples

E.2. EL RAZONAMIENTO SECUENCIAL.

Los niveles de contestación han quedado establecidos de la forma siguiente:

Nivel 3: Corresponden a este nivel los alumnos que no utilizan este tipo de razonamiento para ninguna de las tareas presentadas. Parece que esto va unido a tener claramente asumida la conservación de la corriente eléctrica.

Nivel 2: Los alumnos presentan la idea alternativa de que cuando se modifica un elemento del circuito, los cambios producidos solo van a afectar a los elementos que están "*detrás*" del punto en que se ha producido la variación. Por ejemplo en el circuito que se presenta en la Figura 8.13, la bombilla solo va a verse modificada por los cambios que se produzcan en **R1** pero no por los producidos en **R2**.

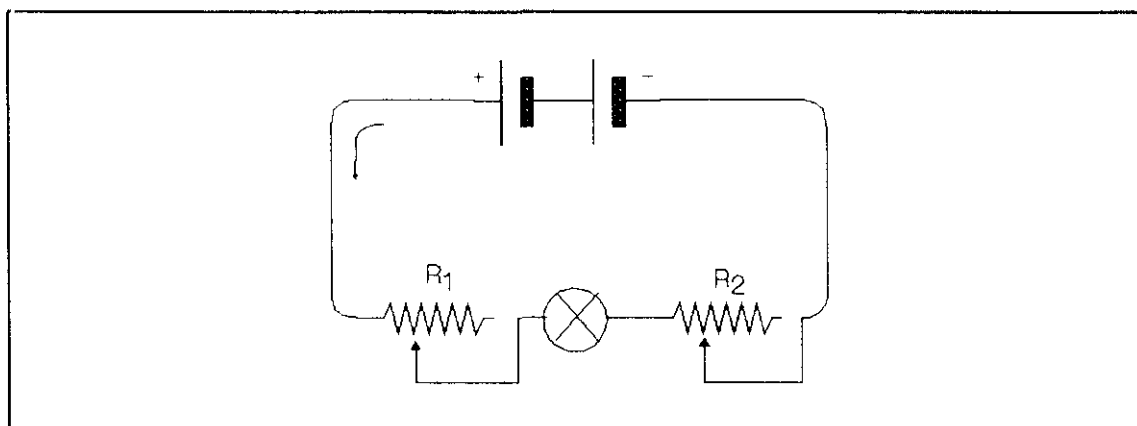


FIGURA 8.13. Circuito para explorar el modelo secuencial

Nivel 1: Aquí quedarían incluidos el resto de los estudiantes que contestan de forma diferente según la tarea que se les presenta. Normalmente hacen una mezcla de razonamiento de tipo secuencial con aplicaciones erróneas de la Ley de Ohm y por supuesto no tienen claro la conservación del voltaje en un circuito, idea esta a la que nos referimos a continuación.

E.3. EL PROBLEMA DEL VOLTAJE.

Cada uno de los niveles han quedado definidos de la manera siguiente:

Nivel 3: Los estudiantes reconocen la diferencia de potencial o voltaje entre dos puntos como la causa de que pueda circular la corriente eléctrica y no como su consecuencia admitiendo por tanto la existencia de diferencias de potencial entre dos puntos en un circuito abierto.

Nivel 2: Los alumnos que han sido englobados en este nivel consideran que la corriente es el concepto primario y como consecuencia de ello aparece la diferencia de potencial. Es decir, **consideran el voltaje como un consecuencia de que la corriente circule por el circuito y no su causa**. Esta idea alternativa les lleva a decir en el circuito que aparece en la Figura 8.14, que la diferencia de potencial entre los puntos E y F es cero como consecuencia de ser un circuito abierto.

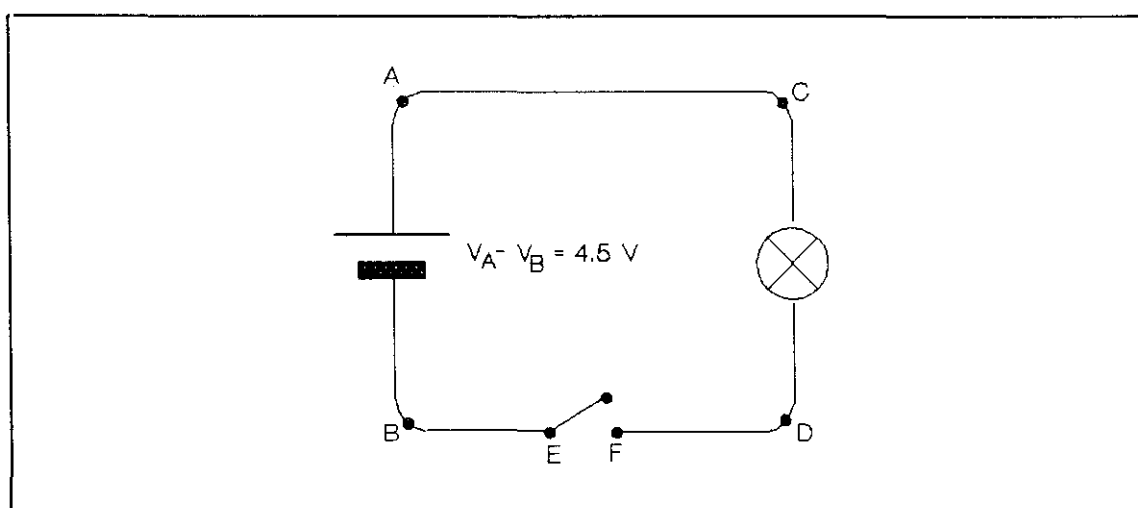


FIGURA 8.14. Circuito serie para explorar el concepto de voltaje

Lo mismo ocurre entre los puntos **D** y **E** del circuito representado en la Figura 8.15 cuando se desconecta la bombilla **N**.

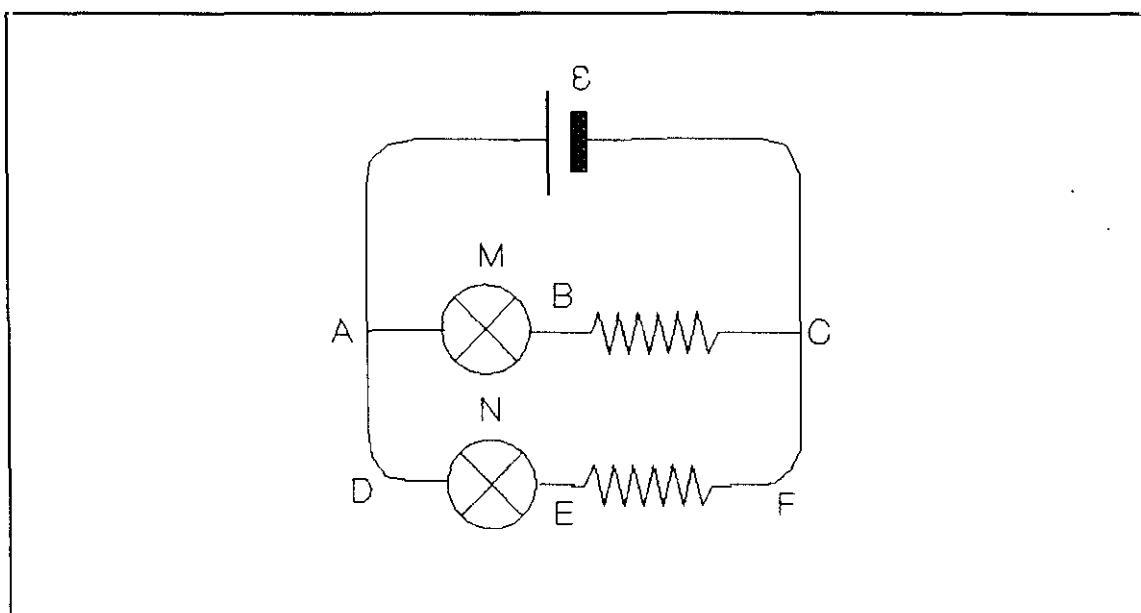


FIGURA 8.15. Circuito paralelo para explorar el concepto de voltaje

Detrás de sus afirmaciones se detecta un razonamiento apoyado en la Ley de Ohm: $V_1 - V_2 = I \cdot R$, si la intensidad se hace cero, forzosamente $V_1 - V_2$ tendrá que ser cero.

Nivel 1: Los alumnos no discriminan entre el voltaje y la intensidad, lo que les lleva a responder de forma caótica. Un porcentaje significativo de estudiantes no contestan alguna de las pruebas presentadas fundamentalmente en la evaluación inicial.

E.4. CONSERVACION DE LA ENERGIA EN CIRCUITOS ELECTRICOS.

Los estudiantes han quedado categorizados de acuerdo con los siguientes niveles:

Nivel 3: Los alumnos presentan ideas científicamente correctas sobre la conservación de la energía en un circuito eléctrico.

Nivel 2: En este nivel han quedado clasificados los estudiantes que tienen la idea alternativa de que la pila es un "*almacén de corriente eléctrica*" que se va a ir gastando a lo largo del circuito. El problema central es la incapacidad de los alumnos para ver claramente que en estos sistemas puede aplicarse también al principio de conservación de la energía.

Nivel 1: Los estudiantes no discriminan entre los conceptos de energía y corriente eléctrica, empleándolos indistintamente según el contexto de la tarea que tienen que realizar.

Una vez que han quedado definidos los niveles para cada uno de los esquemas abordados, y guiados por la idea de que la estructura del conocimiento físico de nuestros estudiantes puede esbozarse a través del análisis de sus contestaciones, tal como ha sido realizado, procedimos a la contrastación de las hipótesis que hacen referencia a las características de los esquemas conceptuales que poseen los alumnos, así como a su posible evolución. Los resultados obtenidos se presentan en los siguientes apartados.

8.3. CAMBIO CONCEPTUAL EN LOS ALUMNOS DEL GRUPO EXPERIMENTAL. CONTRASTACION DE LA HIPOTESIS 1

La primera hipótesis de trabajo abordada en esta investigación ha sido la referente a los esquemas alternativos de los estudiantes y su posible evolución. Esta hipótesis la enunciamos en el **Capítulo 6** con el siguiente texto:

HIPOTESIS 1: El trabajo continuado con una metodología investigativa de resolución de problemas de enunciado abierto, va a producir en los estudiantes del grupo experimental, al final del proceso, diferencias significativas con respecto a los esquemas inicialmente disponibles en el campo de la Mecánica y de la Electricidad. En lo relativo a la persistencia en el tiempo, el nivel alcanzado se va a mantener aunque experimentando algún tipo de retroceso.

Desde un punto de vista operativo, habíamos dividido esta primera hipótesis en tres subhipótesis cuyos enunciados presentamos a continuación, aludiendo al tipo de pruebas estadísticas que se han utilizado para su posible contrastación. La justificación, desde un punto de vista teórico, de la elección de estas pruebas fue realizada en el Apartado 6.4 correspondiente al diseño de la investigación.

Acerca de la evolución experimentada por los esquemas conceptuales:

SUBHIPOTESIS H1.1: Tomando como referencia los esquemas conceptuales iniciales de los alumnos, y como consecuencia del proceso realizado, se va a producir una evolución hacia esquemas conceptuales más próximos a los defendidos actualmente por la Ciencia.

El análisis estadístico utilizado para contrastar esta subhipótesis ha sido la prueba de **rangos señalados y pares igualados de Wilcoxon**. Esta prueba nos va a permitir rechazar la hipótesis nula (enunciada en términos de no existencia de diferencias significativas) en los porcentajes de respuesta obtenidos por los estudiantes antes y después de trabajar con la metodología de resolución de problemas propuesta.

Acerca del nivel de coherencia interna con que los estudiantes utilizan los esquemas conceptuales:

SUBHIPOTESIS H1.2: Los esquemas conceptuales de los estudiantes al final del proceso, van a tener un nivel de coherencia interna superior - dentro de cada una de las áreas investigadas- al que presentaban antes de realizar el entrenamiento en resolución de problemas de enunciado abierto.

Para determinar la coherencia interna de estos esquemas conceptuales, en cada una de las áreas estudiadas, hemos procedido a realizar dos tipos de pruebas estadísticas, **CHI-cuadrado** y **coeficientes de correlación de Kendall**, escogidas de acuerdo con la **escala ordinal** que tenemos definida. Esta escala, establecida en el **Capítulo 6**, y retomada en el apartado anterior, establecía tres niveles de contestación **Nivel 1**, **Nivel 2** y **Nivel 3**, donde **N1** representa el nivel más bajo de contestación, **N2** corresponde a los estudiantes que mantienen, de forma clara,

un esquema alternativo y en el nivel N3 se colocaron los alumnos que se acercan a las contestaciones científicamente aceptadas.

Acerca de la persistencia en el tiempo del cambio conceptual producido:

SUBHIPOTESIS H1.3: El nivel adquirido por los estudiantes en lo que respecta a sus esquemas conceptuales, va a persistir en el tiempo aunque experimentando algún tipo de retroceso.

A fin de comprobar la existencia de posibles diferencias debidas al paso del tiempo, se ha utilizado de nuevo la **prueba de Wilcoxon** para muestras relacionadas.

Vamos a presentar los resultados obtenidos primero para el campo de la **Mecánica** y luego para la **Electricidad**, especificándolos para cada una de las subhipótesis emitidas.

8.3.1. AREA DE MECANICA.

Comenzaremos por presentar, en porcentajes, la distribución de los estudiantes en los tres niveles de contestación que hemos definido para cada uno de los esquemas conceptuales investigados, utilizando las siguientes abreviaturas, a fin de indicar los conceptos estudiados:

M1: Caída libre de los cuerpos

M2: Principio de acción y reacción

M31: Relación fuerza/movimiento en trayectorias retilíneas

M32: Relación fuerza/ movimiento en trayectorias curvas

M4: Principio de conservación de la energía

En la TABLA 8.1. aparecen los resultados para cada nivel así como la media obtenida tanto en la evaluación inicial como final.

Nivel Esquema	N1 (%)		N2 (%)		N3 (%)	
	inicial	final	inicial	final	inicial	final
M1	43	8	53	36	3	55
M2	81	42	17	28	2	30
M31	56	16	42	33	2	50
M32	59	11	39	44	2	44
M4	43	0	39	36	17	64
media	56,6	15,4	38	35,4	5,2	48,6

TABLA 8.1. Resultados del grupo experimental para los esquemas conceptuales de Mecánica. Evaluación inicial/final

Como podemos observar al finalizar el entrenamiento de **Resolución de Problemas**, cerca del **50%** de los estudiantes pertenecientes al grupo experimental, consiguen un nivel de respuestas científicamente correcto, **Nivel 3**, destacando los porcentajes que aparecen para los esquemas conceptuales **M4: Principio de conservación de la energía (64% de aciertos)** y **M1: Caída de los cuerpos (55% de aciertos)**. El concepto que presenta mayor dificultad, de forma muy destacada, es el **M2: Principio de acción y reacción**, donde un **42%** de los

alumnos permanecen en el nivel más bajo de contestación, **Nivel 1**, estando en el extremo opuesto el esquema **M4: Principio de conservación de la energía** que no presenta ningún sujeto en ese nivel. Retomaremos estos resultados en la discusión realizada al final del siguiente apartado cuando analicemos la posible contrastación de la **Subhipótesis H1.1**, relativa a la significatividad del cambio conceptual producido en este área.

En general los datos que hemos obtenido al final del proceso, son mejores que los presentados para alumnos de Bachillerato en las investigaciones al respecto que describíamos a lo largo del **Capítulo 3**, por lo que podemos empezar a pensar en la eficacia del tratamiento efectuado con nuestros estudiantes en el campo de la resolución de problemas, en lo que al cambio conceptual se refiere.

8.3.1.1. SUBHIPOTESIS H1.1 ACERCA DE LA EVOLUCION DE LOS ESQUEMAS CONCEPTUALES.

En cuanto a la posible evolución de los esquemas conceptuales de los estudiantes, y en el marco de la primera hipótesis, nos habíamos planteado la siguiente subhipótesis:

<p>Tomando como referencia los esquemas conceptuales iniciales de los alumnos, y como consecuencia del proceso realizado, se va a producir una evolución hacia esquemas conceptuales más próximos a los defendidos actualmente por la Ciencia.</p>

Vamos a realizar, en primer lugar, un análisis cualitativo comparando los datos recogidos en la evaluación de diagnóstico, con los hallados al final del proceso en el área de **Mecánica**. A partir de los datos que aparecen en la TABLA 8.1, hemos representado en la Figura 8.16 el número de estudiantes que ha dado respuestas científicamente correctas, para cada uno de los esquemas conceptuales, antes y después del tratamiento.

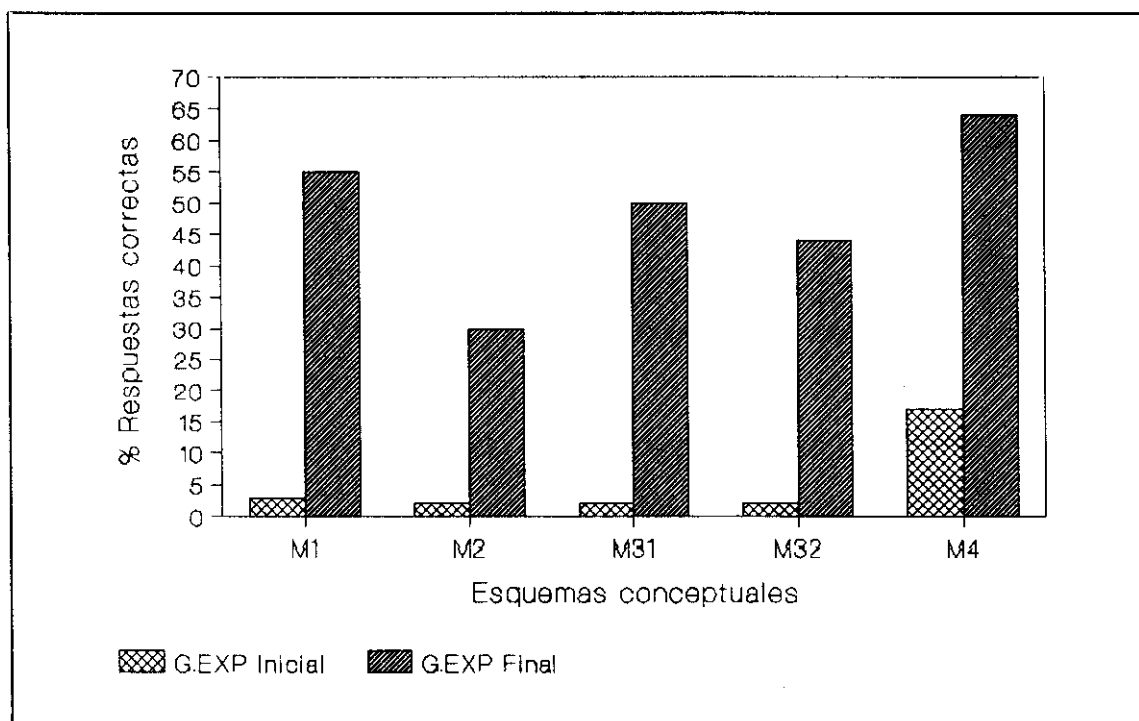


FIGURA 8.16. Evolución de los esquemas conceptuales en Mecánica para el Grupo Experimental

De su observación podemos deducir lo siguiente:

- Para cada uno de los esquemas conceptuales aparece una clara diferencia entre ambas situaciones siempre a favor del final del proceso. El aumento medio producido ha ido de **48,6** puntos sobre cien, siendo el esquema conceptual **M1: Caída libre de los cuerpos** el que, comparativamente, más ha evolucionado.

- El esquema que menos ha evolucionado es el **M2: Principio de acción y reacción**, unido íntimamente a la idea de **fuerza como medida de la interacción entre sistemas**, siendo además el que presenta mayor índice de dificultad, como ya hemos comentado.

- Siguiendo con este criterio de análisis, encontramos en segundo lugar en cuanto a menor evolución, el esquema **M32: Relación fuerza-movimiento en trayectorias curvilíneas**. Además, si observamos la TABLA 8.1, vemos que en este esquema, un **44%** de los estudiantes persisten, al final del proceso, en la idea alternativa de que *existe siempre una fuerza en la dirección del movimiento*. Este porcentaje es el más elevado de los encontrados.

Un resultado importante en el análisis que estamos realizando, es el siguiente: si recogemos de la TABLA 8.1 el dato de que una media del **35,4%** de los alumnos, después del proceso, mantienen esquemas alternativos claros, obtenemos **una medida de la dificultad que tienen los estudiantes para experimentar un cambio conceptual en un campo tan complejo, para sujetos de estas edades, como es el de la Mecánica newtoniana**. Este hecho quedó ampliamente argumentado en el **Capítulo 2** cuando hicimos referencia a las distintas teorías sobre el cambio conceptual, poniendo de manifiesto las dificultades para que se produzca el cambio en el contexto escolar.

Con el fin de explorar si las diferencias observadas entre la evaluación inicial y la final son significativas desde un punto de vista estadístico, se ha realizado la citada **prueba de Wilcoxon**, obteniéndose los datos que se recogen en la TABLA 8.2.

final inicial	M1	M2	M31	M32	M4
M1	4,725***				
M2		3,839***			
M31			4,823***		
M32				4,326***	
M4					4,443***

***P < 0,001

TABLA 8.2. Prueba de Wilcoxon para determinar diferencias inicial/final de los esquemas conceptuales en Mecánica. Grupo experimental.

Los datos de esta tabla corroboran, en general, los resultados que hemos deducido en el análisis cualitativo realizado, poniendo de manifiesto que, podemos rechazar la hipótesis nula con una probabilidad de error menor del 1‰. Este resultado se cumple en todos los casos, es decir que **existen diferencias significativas, en el área de Mecánica, a favor de la situación final del proceso para todos los esquemas conceptuales explorados.**

A continuación, vamos a valorar los resultados obtenidos a la luz de las aportaciones que presentamos en el **Capítulo 3**, referentes a las investigaciones sobre esquemas conceptuales alternativos detectados en el área de **Mecánica** y su posible evolución.

Comenzaremos por el esquema conceptual **M1** relativo a la **influencia de la masa en la caída de los cuerpos**; los datos de la evaluación inicial ponen de

manifiesto que el **53%** de los alumnos, el porcentaje más elevado de los encontrados, presentaba un esquema alternativo claramente definido: "*los cuerpos de mayor masa o peso caen más deprisa que los más ligeros*". Estos resultados coinciden con los datos obtenidos de la bibliografía que presentamos en el Apartado 3.2 (Acevedo, 1989; Carrascosa, 1987; Gil et al., 1991 y Pozo, 1987). El hecho de que este esquema haya sido el que ha experimentado una evolución mayor, puede ser debido a una atención especial a lo largo de todo el proceso: el profesor-investigador era consciente de que esta idea, conceptualmente difícil quizás por su carácter contraintuitivo sólo puede superarse cuando se plantean, expresamente, *conflictos cognitivos* sobre ella.

Un reflexión similar podemos aplicar al esquema conceptual **M4: conservación de la energía** aplicado a sistemas mecánicos. Tomando como referencia las investigaciones mencionadas en el **Capítulo 3**, (Brook y Driver 1984; Duit, 1983, 84; Varela et al., 1993), a lo largo de todo el **entrenamiento de resolución de problemas** se ha aplicado el citado principio a numerosas situaciones, incluyendo, en la línea de la bibliografía apuntada, la idea de la *degradación*, generalmente poco tratada en los currículos escolares. También, y dentro de la misma orientación, los problemas de enunciado abierto resueltos por los estudiantes, planteaban numerosas conexiones con la **vida cotidiana**, tal como describimos detalladamente en el **Capítulo 7**.

En el extremo opuesto, encontramos el esquema conceptual **M2**, relativo al **principio de acción y reacción**, el cual presenta menor evolución, junto al mayor índice de dificultad de todos los esquemas estudiados. Hay que resaltar el hecho de que inicialmente, era el que presentaba un panorama más desalentador con un **81%** de los estudiantes categorizados en el nivel inferior.

Las aportaciones apuntadas en el Apartado 3.3, ponían de manifiesto la dificultad que tienen los estudiantes de cualquier nivel educativo para asumir el concepto científico de *fuerza como medida de la interacción entre dos sistemas, unido a la idea de interacción a distancia*, (Hewson y Hennesey, 1991 b; Hierrezuelo y Montero, 1989; Maloney, 1984; Osborne y Gilbert, 1980; Terry y Jones, 1986, etc). Nuestros resultados apoyan la opinión de estos autores ya que, ni el trabajo continuado, ni el planteamiento expreso de problemas que han supuesto para los alumnos *situaciones de conflicto* encaminadas a conseguir un cambio conceptual han permitido una evolución comparable a la que han experimentado los demás conceptos explorados.

Podemos concluir que **la aplicación correcta del principio de acción y reacción a cualquier tipo de situaciones, representa para los estudiantes un obstáculo muy difícil de superar.**

Para terminar, unos comentarios globales sobre los esquemas M31 y M32, referente a la **relación fuerza/movimiento**. Este concepto, tal como comentábamos al comienzo del Apartado 3.4, es considerado por muchos investigadores como una cuestión clave para la correcta comprensión de la Mecánica newtoniana y en este sentido, ha sido investigada en numerosos contextos. Los resultados encontrados en la evaluación inicial, con solo un **2%** de estudiantes contestando de forma correcta y un **58%** en el nivel más bajo, asociado a la idea de que *los cuerpos en movimiento llevan una fuerza innata que se va consumiendo hasta que el cuerpo se detiene*, confirman las aportaciones de otras investigaciones comentadas en su momento (Carrascosa, 1987; Gil et al. 1991; Gunstone y Watts, 1985; Sebastiá, 1984)

Los resultados, después de realizado todo el proceso, arrojan un avance estadísticamente significativo, de más de cuarenta puntos, lo que en nuestra opinión es un dato muy relevante, pues numerosos autores han señalado la dificultad de los estudiantes para superar la idea alternativa subyacente (*"forzosamente tiene que existir una fuerza en la dirección de la velocidad del móvil"*) que aparece en proporciones importantes, incluso en estudiantes universitarios (Sebastiá, 1984; Viennot, 1979; Warren, 1971).

Como síntesis de todo lo apuntado, podemos recoger la idea ya presentada de que en el caso de la relación fuerza/movimiento, los alumnos manejan una serie de esquemas muy coherentes entre sí, que constituyen un sistema alternativo a la interpretación newtoniana del movimiento.

Para concluir podemos afirmar que, a pesar de la enorme dificultad que entraña el cambio conceptual en el área que hemos estudiado, los resultados obtenidos en nuestra investigación confirman, inequívocamente que, **el tratamiento realizado** por los estudiantes del grupo experimental en una metodología investigativa de resolución de problemas abiertos de Física, **ha producido en su nivel de conocimiento de Mecánica, un cambio conceptual altamente significativo ($P < 0,001$).**

8.3.1.2 SUBHIPOTESIS H1.2 ACERCA DE LA COHERENCIA INTERNA DE LOS ESQUEMAS CONCEPTUALES.

Una vez comprobado que los estudiantes, al finalizar el proceso, presentan unos esquemas conceptuales más próximos a los defendidos por la Ciencia actual,

vamos a explorar otros aspectos relevantes del cambio conceptual experimentado. En lo relativo a la evolución de los estudiantes en cuanto al uso coherente de los citados esquemas, la subhipótesis correspondiente se enunció como sigue:

Los esquemas conceptuales de los estudiantes al final del proceso, van a tener un nivel de coherencia interna superior -dentro de cada una de las áreas investigadas- al que presentaban antes de realizar el entrenamiento en resolución de problemas de enunciado abierto.

Como punto de partida, habíamos supuesto que el entrenamiento con una metodología de tipo investigativo iba a producir en los alumnos una evolución de sus esquemas acercándolos a los aportados por la Ciencia actual. Una de las características de estos esquemas, es que son usados por los físicos de forma **coherente**, y en este sentido pensamos que las contestaciones de los estudiantes van a estar más correlacionadas entre sí, después de realizar todo el proceso que antes del mismo.

Para proceder a la posible contrastación de esta subhipótesis, hemos realizado, en primer lugar, para cada pareja de los esquemas conceptuales investigados, la **prueba de CHI-cuadrado** a fin de explorar el grado de asociación entre las variables. Cuando esta prueba ha dado resultados estadísticamente significativos, se ha determinado la posible correlación existente entre los citados esquemas mediante el cálculo del **coeficiente de correlación de rangos de Kendall**. A la hora de analizar los resultados, se ha trabajado en general con un nivel de significación del 1% ($P < 0,01$), pero tomando también en consideración los casos en que se ha rechazado la hipótesis nula al 5% ($P < 0,05$).

En la TABLA 8.3 presentamos los resultados del estadístico CHI-cuadrado para la evaluación inicial.

inicial	M1	M2	M31	M32
inicial				
M2	0,261			
M31	4,602	0,206		
M32	0,829	0,094	0,013	
M4	5,846	1,457	0,404	3,903

TABLA 8.3. Prueba CHI-cuadrado para el nivel inicial de los esquemas conceptuales en Mecánica. Grupo experimental.

El análisis de esta tabla donde, en ningún caso, se ha obtenido un grado de asociación estadísticamente significativo nos llevó a no realizar cálculos de los correspondientes coeficientes de correlación asumiendo por tanto, que en esta fase de diagnóstico, los alumnos manejan un mapa conceptual muy poco interrelacionado.

En cuanto a la evaluación final, los resultados obtenidos se muestran a continuación. Así, la determinación de CHI-cuadrado, indicando su nivel de significatividad se presenta en la TABLA 8.4.

final	M1	M2	M31	M32
M2	14,123***			
M31	11,609**	8,242		
M32	11,025**	9,545**	6,062	
M4	8,725**	6,368*	4,094	3,492

*P<0,05 **P<0,01 ***P<0,001

TABLA 8.4. Prueba CHI-cuadrado para el nivel final de los esquemas conceptuales en Mecánica. Grupo experimental.

A la vista de estos resultados procedimos al cálculo de los correspondientes coeficientes de Kendall que aparecen en la TABLA 8.5.

Cuando observamos los números que aparecen en la TABLAS 8.5, correspondientes al final del proceso de entrenamiento seguido por los estudiantes, encontramos que **siete de los diez coeficientes de correlación obtenidos para los esquemas conceptuales de Mecánica, son significativos al 1%**, nivel de significación que habíamos escogido previamente en nuestro trabajo. De estos siete, seis de ellos son significativos al **1‰**. Si bajamos al nivel de significación del **5%**, obtenemos un **80% de coeficientes de correlación significativos**, aunque con una mayor posibilidad de cometer errores de tipo I.

final	M1	M2	M31	M32
M2	0,637***			
M31	0,286**	0,190		
M32	0,393***	0,361***	0,205*	
M4	0,455***	0,424***	0,416***	0,068

*P < 0,05 ** P < 0,01 ***P < 0,001

TABLA 8.5. Coeficientes de correlación de Kendall para el nivel final de los esquemas conceptuales en Mecánica. Grupo experimental.

Por otra parte, si realizamos un análisis pormenorizado de cada una de las ideas exploradas, observaremos lo siguiente:

- Los esquemas que presentan unas correlaciones más bajas con el resto del conjunto, son los que hemos representado por **M31: relación fuerza/movimiento sobre trayectorias rectilíneas** y **M32** que corresponde al mismo concepto pero estudiado sobre **trayectorias curvilíneas** llamando especialmente la atención la baja relación entre ellos (sólo significativa al 5%). Quizás la explicación la encontremos en el hecho de que el esquema **M32** cuya idea alternativa (*existencia de una fuerza en la dirección del movimiento*) presenta el mayor porcentaje de estudiantes que la mantienen "a pesar" del proceso en que han estado inmersos, tal como se comentó en el apartado anterior.

- En el extremo opuesto, encontramos al esquema **M1: Caída de los cuerpos** que presenta correlaciones, estadísticamente significativas, de valor elevado, con todos los esquemas conceptuales explorados. También queremos destacar que el esquema **M4** correspondiente al **Principio de conservación de la energía** correlaciona de forma significativa y con valores elevados del correspondiente coeficiente, con los otros esquemas explorados, si hacemos la excepción del esquema **M32** ya comentada.

Aunque algunos autores como J.J.Vera (1994) afirman que a medida que los alumnos avanzan en su aprendizaje sobre una materia, establecen mayores conexiones entre las distintas partes de la misma, en la bibliografía consultada no hemos encontrado trabajos encaminados a comprobar el efecto de un determinado tratamiento sobre el aumento de la coherencia con que los estudiantes utilizan sus esquemas conceptuales en Ciencias. Este hecho nos ha impedido establecer posibles comparaciones con otras investigaciones.

Para terminar, si unimos los resultados que estamos comentando con los obtenidos en la contrastación de la subhipótesis anterior, podemos concluir que **el núcleo conceptual construido en el área de la Mecánica por los alumnos de la muestra utilizada en esta investigación, presenta, al final del proceso un nivel aceptable en los contenidos adquiridos y, lo que en nuestra opinión es más relevante, este núcleo tiene una coherencia interna importante cuando lo comparamos con la situación de partida, antes de entrenarse en la Resolución de Problemas de enunciado abierto.**

8.3.2. AREA DE ELECTRICIDAD.

Comenzaremos presentando los datos globales que se han obtenido en las evaluaciones para el área de la **Electricidad**. Las abreviaturas utilizadas para los esquemas conceptuales investigados en este campo, han sido:

E1: Conservación de la corriente eléctrica

E2: Razonamiento "secuencial"

E3: Concepto de voltaje

E4: Conservación de la energía eléctrica

En la TABLA 8.6 aparecen los resultados para los niveles N1, N2 y N3, en porcentajes, tanto para la evaluación inicial como para la final.

Nivel Esquema	N1 (%)		N2 (%)		N3 (%)	
	inicial	final	inicial	final	inicial	final
E1	45	5	38	28	17	67
E2	85	17	8	28	6	55
E3	83	11	14	39	3	50
E4	54	0	31	36	14	64
media	66,7	8,2	22,7	32,7	10	59

TABLA 8.6. Resultados del grupo experimental para los esquemas conceptuales de Electricidad. Evaluación inicial/final

La media de estudiantes categorizados en el **Nivel 3** -nivel científicamente correcto- al finalizar el proceso es del **59%** destacando los porcentajes obtenidos para los esquemas **E1: Conservación de la corriente eléctrica** y **E4: Conservación de la energía** (**67%** y **64%** respectivamente), siendo además muy pequeños los porcentajes de alumnos que mantienen su respuesta en el nivel más bajo (**Nivel 1**). Claramente diferenciados, como esquemas de mayor dificultad, aparecen el esquema **E2: razonamiento secuencial** que presenta el mayor porcentaje de respuestas, al final del proceso, categorizadas en el **Nivel 1**, y el **E3** relativo al **concepto de voltaje** con sólo la mitad de alumnos con contestaciones categorizadas en el nivel superior.

Si comparamos estos resultados con los obtenidos para la **Mecánica**, observamos que el número de estudiantes con contestaciones categorizadas en el **Nivel 3**, un **59%**, está más de diez puntos por encima del obtenido en el citado campo, por lo que podríamos avanzar la idea de que el tratamiento de resolución de problemas abiertos se ha mostrado más eficaz en **Electricidad** que en **Mecánica**. De esta investigación, no podemos concluir si este efecto es debido a la propia naturaleza de los conocimientos o al orden temporal en que se ha realizado el proceso, orden que podría haber beneficiado a la **Electricidad**, cuyo estudio se abordó en segundo lugar y por lo tanto, los estudiantes estaban familiarizados con la metodología investigativa de resolución de problemas en que estaban siendo entrenados.

8.3.2.1. SUBHIPOTESIS H1.1 ACERCA DE LA EVOLUCION DE LOS ESQUEMAS CONCEPTUALES.

Vamos a realizar en primer lugar, un análisis cualitativo de los datos obtenidos en **Electricidad** para la evaluación final comparándolos con los obtenidos antes de iniciar el proceso. En la Figura 8.17 aparece la gráfica correspondiente a la evolución de las contestaciones de los estudiantes, categorizadas en el Nivel 3, considerado científicamente correcto.

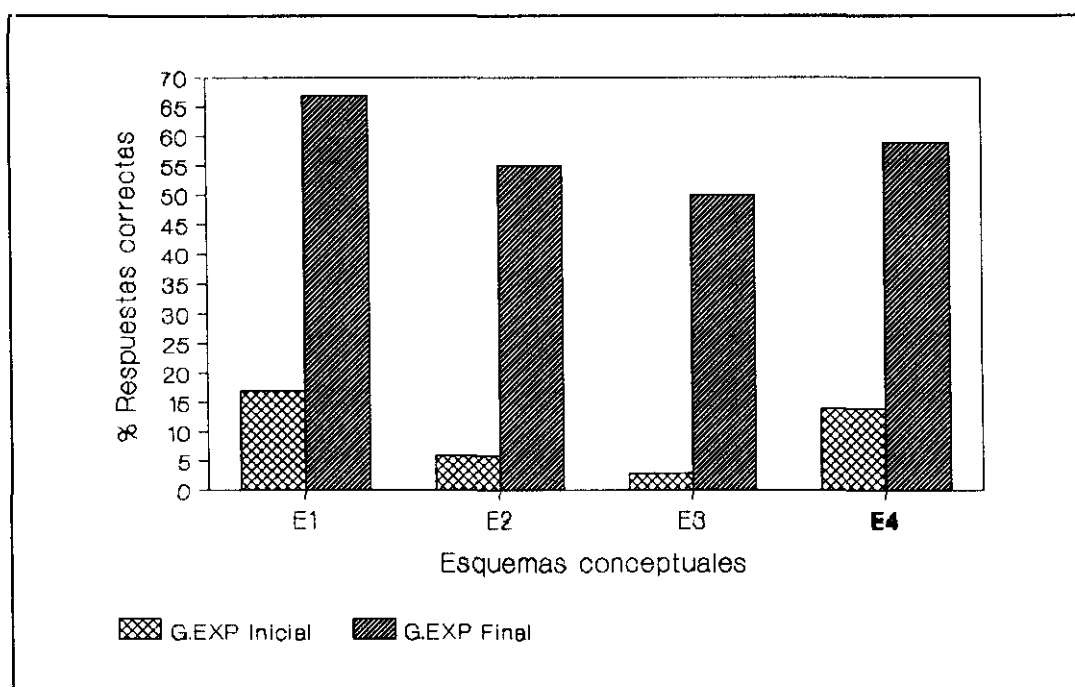


FIGURA 8.17. Evolución de los esquemas conceptuales en Electricidad para el Grupo experimental

De su observación se desprende lo siguiente:

- Se ha producido una clara evolución en este campo para todos los esquemas investigados. El aumento medio ha sido de **49 puntos** sobre cien, lo que representa un avance muy relevante.

- Los esquemas que, comparativamente, menos han evolucionado, han sido el **E2: Razonamiento secuencial** y el **E3: Concepto de voltaje** que, por otra parte, son los que presentan un mayor número de alumnos que mantiene ideas categorizadas en el nivel más bajo de contestación.

- El número de estudiantes que, de media, mantienen sus **esquemas alternativos, Nivel 2**, es de un **32,7%**, destacando el correspondiente al concepto de voltaje, donde un **39%** persisten en su idea de que *el voltaje es una consecuencia de que la corriente circula por un circuito y no su causa*. Estos resultados ponen de manifiesto, una vez más, la enorme dificultad que entraña el proceso de **cambio conceptual** que tienen que experimentar los estudiantes en el proceso de aprendizaje de las Ciencias.

Para comprobar si las diferencias que hemos encontrado son estadísticamente significativas, hemos realizado de nuevo la prueba de Wilcoxon cuyos resultados aparecen en la TABLA 8.7.

Estos datos muestran claras diferencias -nivel de significación del **1‰**- entre la situación conceptual de los alumnos, en el campo de la **Electricidad**, antes y después de realizar el proceso, corroborando los resultados obtenidos en el estudio cualitativo.

Vamos a realizar a continuación la valoración de estos datos a la luz de las aportaciones realizadas en el **Capítulo 4**, donde presentamos una serie de investigaciones sobre la existencia de esquemas conceptuales alternativos en el campo de la **Electricidad**, para un amplio rango de edades que iba desde los diez, once años hasta alumnos universitarios.

final inicial	E1	E2	E3	E4
E1	5,295***			
E2		4,882***		
E3			4,939***	
E4				5,035***

***P < 0,001

TABLA 8.7. Prueba de Wilcoxon para determinar diferencias inicial/final en Electricidad. Grupo experimental.

Respecto a los esquemas **E1** y **E4** relacionados con principios de conservación, los resultados de la **evaluación inicial** muestran una clara coincidencia con los resultados de las investigaciones realizadas en ese campo. Así, en cuanto a **la corriente eléctrica** aparecen los modelos **no conservativos** para la circulación, similares a los descritos por autores como Dupin y Joshua, (1989); Osborne, (1983); Shipstone, (1984); Varela et al., (1988, 1993), siendo relevante que aproximadamente la mitad de los alumnos, categorizados en el **Nivel 1**, presenten modelos poco elaborados, del tipo **fuelle → consumidor** (Andersson, 1986), o modelos **concurrentes o classing**, donde *la corriente sale por ambos polos de la pila para consumirse totalmente en la bombilla*.

En lo relativo al concepto de **energía**, inicialmente un **54%** de los estudiantes del grupo experimental no discriminaban la idea de energía frente al de corriente eléctrica, empleándolas indistintamente según el contexto de la tarea

a realizar (Rhoneck, 1983, Shipstone, 1988). A lo largo del proceso, estos dos esquemas han evolucionado muy significativamente (ver TABLA 8.7) hacia planteamientos más científicos, estando al final del mismo altamente correlacionados entre ellos, tal como mostraremos en el apartado siguiente.

Para terminar el análisis de los dos conceptos relacionados con la idea de **conservación**, destacar que en el primero de ellos, aproximadamente la cuarta parte de los alumnos persiste en su esquema alternativo de que la *corriente eléctrica se va gastando a lo largo del circuito; y en circuitos con varios elementos, los más alejados recibirán menos corriente*. En cuanto al uso del principio de la conservación de la energía, el problema central de la persistencia de ideas erróneas estaría en la incapacidad de los alumnos para ver claramente que puede aplicarse el citado principio a los circuitos eléctricos, superando la idea de *pila como fuente de corriente constante* (Cohen et al., 1983). Por último, añadir, que en el estudio de las explicaciones que han dado los alumnos, aparece como fuente clara de confusión el uso que, de estos términos, se hace en el **lenguaje cotidiano**, discrepante del sentido en que lo utilizan los físicos. Esta realidad ha sido claramente constatada por otros autores (Llorens, 1991 y Solomon, 1987).

El esquema E3 que recoge los denominados en la bibliografía **Razonamientos de tipo secuencial**, conlleva la idea alternativa, ampliamente implantada en las muestras de esta edad investigadas, según la cual, *cuando se modifica un elemento de un circuito, los cambios producido sólo van a afectar a los elementos que están detrás del punto en que se ha producido la variación* (Closset, 1983; Shipstone et al., 1988; Varela, 1993). Esta idea se mantiene, con porcentajes importantes, en alumnos universitarios (Closset, 1989; Cohen et al., 1983; Shipstone, 1984). Algunos autores como Dupin y Joshua (1986), lo

consideran coherente con la llamada *metáfora del fluido*, muy intuitiva para los estudiantes, mientras otros lo han achacado a la dificultad de los estudiantes a enfrentarse a problemas en que se producen cambios simultáneos de más de una variable, (Cohen et al., 1983). En otra orientación, encontramos a autores como Hartel (1982), que atribuyen la aparición de estos modelos alternativos, a la propia enseñanza que de los circuitos eléctricos se realiza en las aulas.

En coincidencia con la idea aportada por H.Hartel, a lo largo de todo el entrenamiento realizado con los sujetos del grupo experimental se ha trabajado cuidadosamente este aspecto insistiendo en la idea central de que ***un circuito es un sistema en interacción o en equilibrio, donde un cambio en cualquier elemento afecta a todo el circuito.*** Hay que llamar la atención sobre el hecho, de que a pesar del tratamiento realizado, poco más de la mitad de los estudiantes dan, en la evaluación final, respuestas satisfactorias, manteniendo el **28%** el **esquema alternativo** anteriormente descrito. Estos resultados nos llevan a concluir que el abandono de los **razonamientos secuenciales**, a la hora de resolver circuitos eléctricos, constituye un obstáculo para nuestros alumnos de difícil superación.

En cuanto al **concepto de voltaje** hay que constatar que, presenta en nuestro grupo experimental, el mayor índice de dificultad, junto con el mayor porcentaje de estudiantes que mantienen sus esquemas alternativos después de finalizado el entrenamiento de resolución de problemas. La primera explicación la podemos encontrar en el hecho de que en la evaluación de diagnóstico, un **83%** de nuestros estudiantes presentaban contestaciones altamente incoherentes donde no se diferencia entre voltaje/corriente o entre voltaje/energía. En esta línea podemos destacar la opinión de algunos autores presentada en el Apartado 4.5: ***"el concepto de voltaje y su discriminación de la corriente eléctrica es una***

cuestión delicada a la que hay que prestar mucha atención", (Maichle, 1981; Millar, 1993; Rhoneck, 1983 etc.) o *"hace falta llegar a la Universidad para encontrar respuestas medianamente satisfactorias"* (Dupin y Joshua, 1986). Otro aspecto relativo a la dificultad de la enseñanza del voltaje es que los alumnos de este nivel tienen un conocimiento del campo eléctrico muy superficial, lo que no facilita la introducción del voltaje en el marco de la teoría de campos como sería deseable (Varela, 1988).

Todos los datos que hemos apuntado, fueron tomados en cuenta en el diseño del tratamiento realizado con los alumnos que han constituido el grupo experimental de nuestra investigación, haciendo hincapié en la diferenciación de las distintas magnitudes como un paso previo para su correcto aprendizaje, unida a la realización de **análisis cualitativos de circuitos, en el marco de nuestro modelo de resolución de problemas** donde este tipo de análisis tienen una gran relevancia. Los resultados obtenidos, en nuestra opinión alentadores, corroboran la bondad del proceso realizado a la hora de producir cambios conceptuales en ideas de un nivel de dificultad elevado como la comentada.

Como conclusión de todo lo aportado podemos afirmar que, a pesar de la enorme dificultad que entraña el cambio conceptual en el área de Electricidad, los resultados obtenidos en nuestra investigación, confirman, inequívocamente, que **el tratamiento realizado por los estudiantes del grupo experimental en una metodología investigativa de resolución de problemas de Física, ha producido en su nivel de conocimiento de Electricidad, un cambio conceptual altamente significativo** ($P < 0,001$).

Considerando de forma conjunta, los resultados obtenidos en **Mecánica** con los obtenidos en **Electricidad**, podemos afirmar que ha quedado contrastada

la **Subhipótesis H1.1** referente a la existencia de diferencias significativas entre los esquemas conceptuales de los alumnos en las áreas citadas, antes y después del proceso, siempre a favor de la situación final.

8.3.2.2. SUBHIPOTESIS H1.2 ACERCA DE LA COHERENCIA INTERNA DE LOS ESQUEMAS CONCEPTUALES.

Una vez comprobado que, efectivamente, se ha producido un cambio conceptual significativo en el campo de la **Electricidad**, vamos a explorar los aspectos relativos a la **coherencia interna** con que los estudiantes utilizan sus esquemas conceptuales antes y después de ser entrenados en la metodología de resolución de problemas que hemos propuesto. Este aspecto fue recogido en la **Subhipótesis H1.2** y para su contrastación en este campo se ha realizado el mismo proceso que en **Mecánica**. Así, los datos obtenidos para la prueba CHI-cuadrado se presentan en la TABLA 8.8.

inicial	E1	E2	E3
inicial			
E2	5,815		
E3	1,680	0,005	
E4	7,532	1,122	3,15

TABLA 8.8. Prueba CHI-cuadrado para el nivel inicial de los esquemas conceptuales en Electricidad. Grupo experimental.

El análisis de esta tabla donde, en ningún caso, se ha obtenido un grado de asociación estadísticamente significativo nos llevó a no realizar cálculos de los correspondientes coeficientes de correlación asumiendo por tanto, que en esta fase de diagnóstico, los alumnos manejan un mapa conceptual muy poco interrelacionado.

Para la evaluación final los resultados obtenidos en la prueba de CHI-cuadrado aparecen en la TABLA 8.9.

final	E1	E2	E3
E2	19,42***		
E3	11,229**	17,097***	
E4	12,449**	14,544***	13,124***

P < 0,01 *P < 0,001

TABLA 8.9. Prueba CHI-cuadrado para el nivel final de los esquemas conceptuales en Electricidad. Grupo experimental.

A la vista de estos resultados, altamente significativos, hemos calculado los correspondientes coeficientes de Kendall que se presentan en la TABLA 8.10.

final	E1	E2	E3
final			
E2	0,427***		
E3	0,409***	0,437***	
E4	0,537***	0,590***	0,697***

*** $P < 0,001$

TABLA 8.10. Coeficientes de Kendall para el nivel final de los esquemas conceptuales en Electricidad. Grupo experimental.

El resultado es muy relevante cuando se analizan los datos obtenidos al final del proceso. Con un nivel de significatividad del 1% ($P < 0,01$), los valores de CHI-cuadrado muestran una fuerte asociación entre las variables y en coincidencia con estos resultados, los correspondientes coeficientes de correlación de Kendall dan valores comprendidos entre **0,409** y **0,697**, todos con una probabilidad menor del 1‰ por lo que podemos concluir que, **en el campo de la Electricidad, los estudiantes han conseguido un nivel conceptual con un grado de coherencia muy elevado y superior al obtenido en el área de Mecánica.**

Al igual que nos ocurría en el campo de la **Mecánica**, no hemos encontrado trabajos de investigación relativos a la influencia que determinados entrenamientos realizados con los estudiantes puedan tener, en el contexto escolar de las clases de Ciencias, sobre el aumento de coherencia con que los citados sujetos utilizan sus esquemas conceptuales. Esta falta de resultados hace que los encontrados en este trabajo, abran una línea de investigación encaminada

a profundizar en aspectos relativos a la coherencia interna en el uso de los esquemas conceptuales por estudiantes de Ciencias.

Para terminar, considerando de forma conjunta, los resultados obtenidos en la **Mecánica** con los obtenidos en la **Electricidad**, podemos concluir que ha quedado contrastada la **Subhipótesis H1.2** referente a que **los estudiantes utilizan sus esquemas conceptuales con un mayor nivel de coherencia interna** después de haber sido entrenados en una metodología investigativa de resolución de problemas de enunciado abierto en el campo de la Física.

8.3.2.3. SUBHIPOTESIS H1.3 ACERCA DE LA PERSISTENCIA EN EL TIEMPO DEL CAMBIO CONCEPTUAL

La última subhipótesis que habíamos propuesto en el marco de la primera hipótesis ha sido la Subhipótesis 1.3 con el siguiente enunciado:

El nivel adquirido por los estudiantes en lo que respecta a los esquemas conceptuales, va a persistir en el tiempo aunque experimentando algún tipo de retroceso.

Tal como describimos en el diseño de la investigación (Apartado 6.1.1) a los diez meses de terminado el proceso de entrenamiento, nos propusimos estudiar la persistencia en el tiempo del cambio conceptual experimentando por lo estudiantes. La toma de datos para el estudio de la citada persistencia se ha realizado únicamente en el campo de la **Electricidad** pues como indicamos, en el momento de llevar a cabo la exploración, los estudiantes ya habían abordado

la parte correspondiente a **Mecánica**, dentro de los programas de **Física de COU**, por lo que consideramos que los datos en este campo iban a estar sesgados positivamente.

Para estudiar las posibles diferencias que el paso del tiempo podía introducir en el nivel adquirido con respecto a la situación que hemos llamado final -finalización del proceso- vamos a presentar en primer lugar, el porcentaje de estudiantes que al cabo de diez meses hemos podido categorizar en los niveles N1, N2 y N3 (TABLA 8.11).

Nivel Esquema	N1 (%)	N2 (%)	N3 (%)
E1	16	31	53
E2	16	44	41
E3	9	53	38
E4	0	41	59
media	10,2	42,2	47,5

TABLA 8.11. Resultados del grupo experimental para los esquemas conceptuales de Electricidad. Evaluación de recuerdo.

Un análisis comparativo de estos datos con los presentados en la TABLA 8.6, muestra como ha disminuido el número de estudiantes que, por término medio, estaban en el **Nivel 3** correspondiente a esquemas coincidentes con los

aportados por la ciencia escolar: se ha pasado de un **59%** a un **47,5%**. Esta disminución ha repercutido en el número de sujetos que podemos encuadrar en el **Nivel 2** es decir, han aumentado sensiblemente los estudiantes que responden a las cuestiones planteadas utilizando de nuevo un **esquema conceptual alternativo**. El número de alumnos que se mantienen en el **Nivel 1**, correspondiente a respuestas incoherentes, es del **10%**, similar al aparecido al final del proceso de aprendizaje(**8,2%**). La comparación realizada se presenta de forma gráfica en la Figura 8. 18.

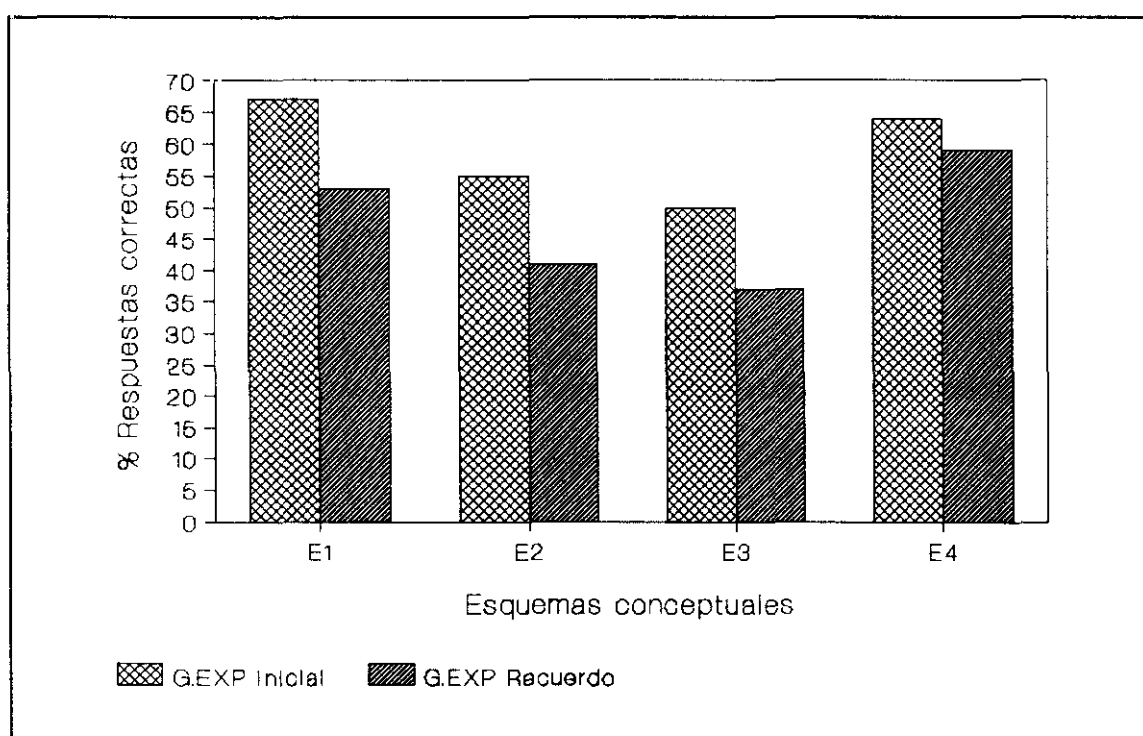


FIGURA 8.18. Comparación de la evaluación final/recuerdo en Electricidad para el Grupo Experimental.

A fin de comprobar si las diferencias que acabamos de describir son estadísticamente significativas, hemos utilizado de nuevo la prueba de Wilcoxon para muestras relacionadas (la muestra utilizada en la medición de recuerdo ha

tenido cuatro alumnos menos debido a cambio de centro o de turno). Los resultados obtenidos se presentan en la TABLA 8.12.

recuerdo	E1	E2	E3	E4
final				
E1	2,324*			
E2		2,111*		
E3			1,89*	
E4				1,414

*P < 0,05

TABLA 8.12. Prueba de Wilcoxon para determinar diferencias final/recuerdo en los esquemas conceptuales de Electricidad. Grupo experimental.

Si mantenemos el nivel de significación que hemos venido utilizando para analizar los resultados, **1%**, podemos concluir que no se han producido con el paso del tiempo diferencias significativas en lo que respecta a los esquemas conceptuales de los estudiantes, es decir, hay que aceptar la hipótesis de nulidad. Si observamos la significatividad de los números encontrados, observamos que al **5%**, existen diferencias significativas, siempre **a favor de la situación final**, para tres de los esquemas conceptuales estudiados, lo que nos permitiría afirmar que se ha experimentado, efectivamente cierto retroceso como consecuencia del factor tiempo.

Podemos concluir que el **tratamiento llevado a cabo resolviendo problemas de enunciado abierto en el campo de la Electricidad, ha producido en los estudiantes un cambio conceptual persistente en el tiempo aunque con una vuelta a la utilización de esquemas alternativos estadísticamente no significativa**. En este sentido podemos considerar contrastada la SUBHIPOTESIS H1.3 en lo referente a la persistencia del cambio conceptual.

8.3.3. CONCLUSIONES ACERCA DE LA CONTRASTACION DE LA HIPOTESIS 1.

Vamos a recoger en este apartado, a modo de conclusión final sobre la Hipótesis 1, las aportaciones de nuestra investigación.

En lo relativo a **Mecánica**:

- Cerca del 50 % de los estudiantes del grupo experimental, consiguen al finalizar el proceso un nivel de respuestas científicamente correcto. Los esquemas conceptuales mejor asumidos son los relativos al Principio de conservación de la energía y a la no influencia de la masa en la caída de los cuerpos, siendo el que presenta mayor dificultad el correspondiente al Principio de acción y reacción - unido íntimamente al concepto científico de fuerza- donde un 42 % de los estudiantes permanecen en el nivel de contestación más bajo.

- El tratamiento realizado por los individuos del grupo experimental en una metodología investigativa de resolución de problemas de Física, ha producido

en su nivel de conocimiento de Mecánica, un cambio conceptual altamente significativo, $P < 0,001$, para todos los esquemas investigados.

El esquema que ha experimentado una evolución cuantitativamente más importante ha sido el relativo a la influencia de la masa en la caída de los cuerpos, donde inicialmente un 53% de los estudiantes mantenían la idea: "los cuerpos de mayor masa caen más deprisa". En el extremo opuesto, encontramos el correspondiente al Principio de acción y reacción, llegándose a la conclusión de que la aplicación correcta de este esquema constituye, en alumnos de esta edad, un auténtico obstáculo de difícil superación.

- Observamos también, que aproximadamente un tercio de los estudiantes mantienen esquemas conceptuales alternativos en Mecánica sobre los conceptos estudiados, destacando el que hace referencia a la existencia necesaria de una fuerza en la dirección del movimiento para trayectorias curvas, con un 44% de respuestas alternativas.

- El núcleo conceptual construido en el área de la Mecánica por los alumnos de la muestra utilizada en esta investigación, presenta una coherencia interna importante cuando lo comparamos con la situación de partida, antes de entrenarse en la resolución de problemas de enunciado abierto. Al final del proceso, siete de los diez coeficientes de correlación calculados, son significativos al 1%. Por el contrario, en la evaluación de diagnóstico no se encontraron correlaciones significativas.

En lo relativo a **Electricidad**:

- El número de estudiantes que podemos categorizar en el nivel superior al final del proceso es por, término medio, del 59%. Los esquemas que han conseguido mayores porcentajes de aciertos han sido los correspondientes a la conservación de la corriente eléctrica y a la energía aplicado a sistemas eléctricos. El esquema que presenta mayor dificultad es el relativo al concepto de voltaje, seguido muy de cerca por el que incluye razonamientos de tipo secuencial, presentando ambos después del proceso, porcentajes del orden del 14% de contestaciones categorizadas, en el nivel más bajo de respuestas.

- El tratamiento realizado por los individuos del grupo experimental, ha producido en su nivel de conocimiento de Electricidad, un cambio conceptual altamente significativo, $P < 0,001$, para todos los esquemas investigados.

Los esquemas que han experimentado una evolución, cuantitativamente más importante han sido los relativos a la conservación de la corriente y de la energía en circuitos eléctricos. En el extremo opuesto encontramos el esquema correspondiente al razonamiento secuencial, llegando a la conclusión siguiente: la superación de la idea *"cuando se modifica un elemento de un circuito, los cambios producido sólo van a afectar a los elementos que están detrás del punto en que se ha producido la variación"*, constituye para alumnos de esta edad, un obstáculo de difícil superación.

- Aproximadamente la tercera parte de los estudiantes, mantienen sus esquemas alternativos, siendo el correspondiente al concepto de voltaje el de mayor presencia, el 39% de los estudiantes mantiene el esquema alternativo

según el cual: *"el voltaje es una consecuencia de que la corriente circule, y no su causa."*

- El núcleo conceptual construido en el área de Electricidad por el grupo experimental, presenta una coherencia interna importante cuando lo comparamos con la situación de partida. Al final del proceso todos los coeficientes de correlación calculados, son significativos al 1%. Por el contrario, en la evaluación de diagnóstico no se encontraron correlaciones significativas.

- El tratamiento llevado a cabo resolviendo problemas de enunciado abierto en el campo de la Electricidad, ha producido en los estudiantes un cambio conceptual persistente en el tiempo, aunque con una vuelta a la utilización de esquemas alternativos estadísticamente no significativa, cuando de trabaja al 1%.

En lo relativo a aspectos comunes a **Mecánica** y a **Electricidad**:

- Los resultados obtenidos en Electricidad están diez puntos por encima del conseguido en el campo de la Mecánica quedando este dato matizado por el hecho de que, al tratarse la Electricidad posteriormente a la Mecánica, los alumnos estaban más entrenados en la metodología de resolución de problemas abiertos.

- El porcentaje de alumnos que mantiene un esquema alternativo al final del proceso, es tanto en Mecánica como en Electricidad del orden de un 33%, lo cual pone de manifiesto, una vez más, la enorme dificultad que entraña el

proceso de cambio conceptual que tienen que experimentar los estudiantes en el contexto de las clases de Ciencias.

- En las dos áreas estudiadas, el esquema conceptual relativo al Principio de conservación de la energía, presenta altas correlaciones con los demás esquemas explorados. En nuestra opinión, este resultado pone de manifiesto la relevancia del aprendizaje significativo de este concepto.

Como conclusión global podemos apuntar que los resultados obtenidos **contrastan la Hipótesis 1** ya que, **el núcleo conceptual construido en las áreas de Mecánica y Electricidad por los alumnos de la muestra utilizada en esta investigación, presenta, al final del proceso de entrenamiento en la resolución de problemas de enunciado abierto, un nivel aceptable en cuanto a los contenidos adquiridos, significativamente superior al que tenían antes de comenzar el proceso. Este núcleo tiene una coherencia interna importante cuando lo comparamos con la situación de partida, antes de entrenarse en la resolución de problemas de enunciado abierto. El cambio conceptual producido ha persistido a lo largo del tiempo, aunque con una vuelta a la utilización de esquemas alternativos estadísticamente no significativa.**

Para terminar añadir que, tanto en Mecánica como en Electricidad, no hemos encontrado trabajos de investigación relativos a la influencia que determinados entrenamientos realizados con los estudiantes, en el contexto escolar de las clases de Ciencias, puedan tener sobre el aumento de coherencia con que los citados sujetos utilicen sus esquemas conceptuales. Esta falta de resultados hace que los encontrados en este trabajo, abran una línea de investigación encaminada a profundizar en aspectos relativos a la coherencia interna en el uso de los esquemas conceptuales por estudiantes de Ciencias.

8.4. CAMBIO CONCEPTUAL EN LOS ALUMNOS DEL GRUPO CONTROL. CONTRASTACION DE LA HIPOTESIS 2

Tal como habíamos previsto en el diseño de la investigación se ha seleccionado un conjunto de cuarenta alumnos que ha constituido el **grupo control**. Las características de este grupo se han explicitado con detalle en el Apartado 6.3. y su posible comportamiento en relación con el **grupo experimental**, en lo que al cambio conceptual se refiere, fue previsto en la hipótesis direccional 2 con el siguiente enunciado:

HIPOTESIS 2: El nivel adquirido en los campos conceptuales de Mecánica y Electricidad, va a ser significativamente superior en el grupo experimental- entrenado en la resolución de problemas de enunciado abierto- que en el grupo control.

Inicialmente no van a existir diferencias significativas entre ambos grupos.

En cada una de las áreas investigadas vamos a realizar en primer lugar, un análisis cualitativo comparando los resultados obtenidos por el **grupo control** y por el **experimental**, tanto en la situación de diagnóstico como al final del proceso; en cuanto al análisis estadístico utilizado para contrastar esta hipótesis, se ha utilizado la **prueba U de Mann-Whitney**, tal como avanzamos en el Apartado 6.4.6.

8.4.1. AREA DE MECANICA.

Comenzaremos por presentar en la TABLA 8.13, los resultados obtenidos por los alumnos pertenecientes al **grupo control** en las evaluaciones inicial y final, de forma similar a como lo hicimos en la TABLA 8.1 para el **grupo experimental**.

Nivel Esquema	N1 (%)		N2 (%)		N3 (%)	
	inicial	final	inicial	final	inicial	final
M1	37	33	55	37	8	30
M2	85	65	10	20	5	15
M31	43	37	37	33	20	30
M32	65	55	25	32	10	13
M4	35	18	45	47	20	35
media	53	42	34	34	13	25

TABLA 8.13. Resultados del grupo control para los esquemas conceptuales de Mecánica. Evaluación inicial/final

Las Figuras 8.19 y 8.20 muestran gráficamente la comparación entre el **grupo experimental** y el **grupo control** para las situaciones inicial y final. Previamente, el grupo control presenta mejores resultados, expresados en porcentaje de aciertos, para todos los esquemas estudiados. Por el contrario, la situación cambia al final del proceso encontrándose diferencias apreciables entre ambos grupos, siempre a favor del grupo experimental.

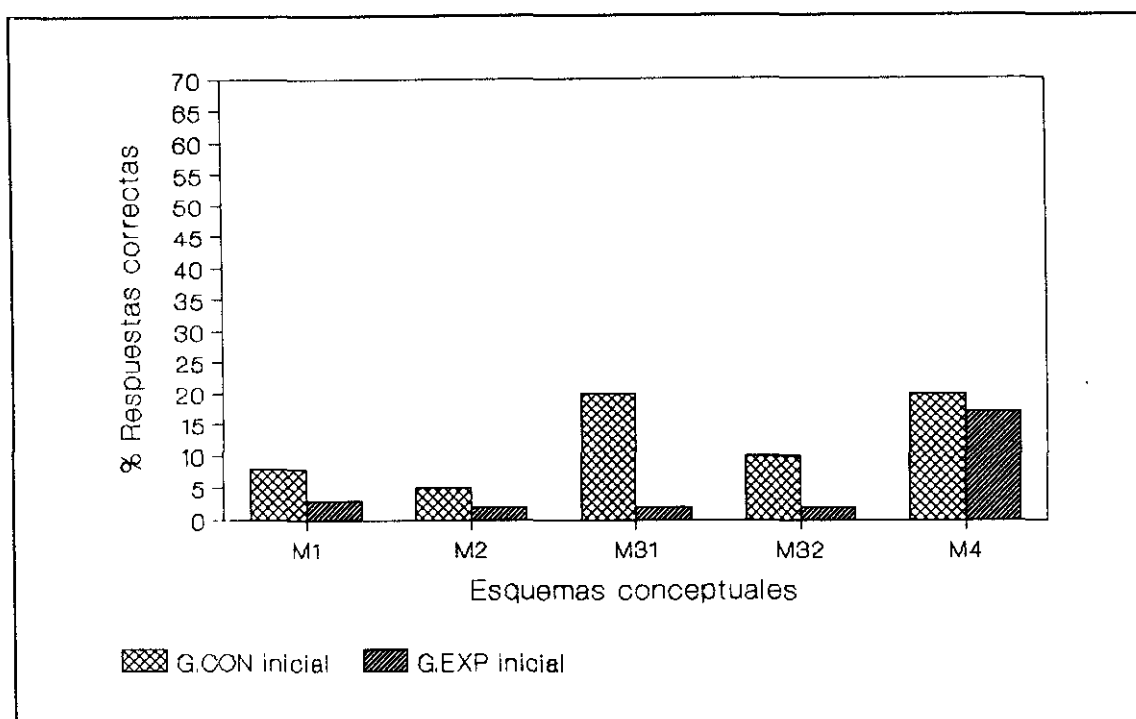


FIGURA 8.19. Comparación evaluación inicial/inicial para Grupo Experimental y Grupo Control en Mecánica

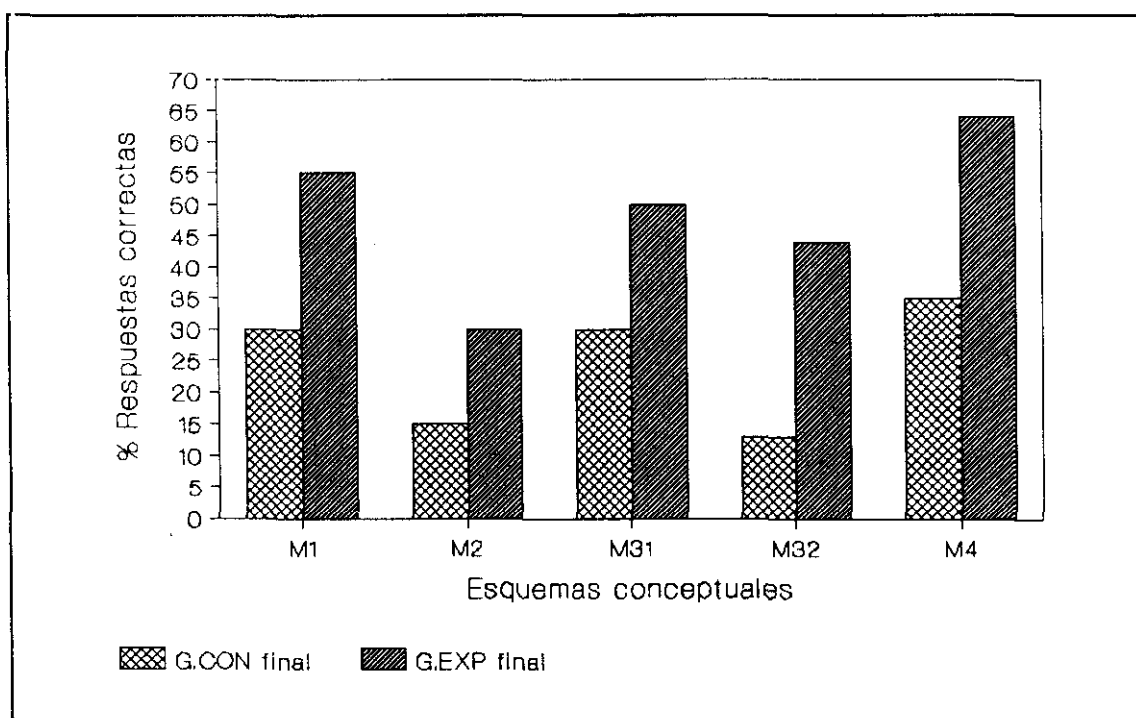


FIGURA 8.20. Comparación evaluación final/final para Grupo Experimental y Grupo Control en Mecánica

Con el fin de explorar si las diferencias encontradas son estadísticamente significativas, se ha aplicado en la situación inicial y en la final, la citada prueba U de Mann-Whitney, presentándose en las TABLAS 8.14 y 8.15 los correspondientes resultados.

Gcon inicial	M1	M2	M31	M32	M4
Gexp inicial					
M1	0,798				
M2		0,099			
M31			2,290*		
M32				0,219	
M4					0,786

*P < 0,05

TABLA 8.14. Prueba U de Mann-Witney para determinar diferencias en el nivel inicial de Mecánica. Grupo experimental y control.

El análisis de los datos recogidos en la TABLA 8.14 muestra que no hay diferencias significativas entre los estudiantes correspondientes a los dos grupos antes de recibir la instrucción -nivel de significación del 1%- si se hace la salvedad del esquema **M31: relación fuerza/movimiento sobre trayectorias rectilíneas** donde hay que rechazar la hipótesis nula a favor del grupo control. Este grupo presenta puntuaciones más altas que el grupo experimental si bien, el rechazo de la hipótesis nula, se produce con un nivel de significatividad del 5%, lo que nos podría llevar a pensar en errores de **tipo I** ya que, inicialmente, no

encontramos razones de tipo epistemológico para explicar la discrepancia de este dato.

Gcon final	M1	M2	M31	M32	M4
Gexp final					
M1	2,568**				
M2		2,393**			
M31			2,160*		
M32				4,499***	
M4					2,793**

* $P < 0,05$

** $P < 0,01$

*** $P < 0,001$

TABLA 8.15. Prueba U de Mann-Witney para determinar diferencias en el nivel final de Mecánica. Grupo experimental y control.

Aparte de la salvedad que acabamos de comentar, que no aparezcan diferencias significativas entre los dos grupos **corroborar la bondad en la elección tanto del grupo experimental como del grupo control**; dicha elección se basó en la suposición de que **ambas muestras eran representativas de un mismo universo**: la población de alumnos correspondiente al curso 3º de BUP matriculados en Institutos urbanos del estado español. Como consecuencia de esta homogeneidad, los dos grupos de estudiantes, antes de recibir un tratamiento diferenciado, iban a presentar un nivel conceptual semejante. Este resultado, que como veremos más adelante se repite en el campo de la Electricidad, zanja, en nuestra opinión, el problema de la representatividad de las muestras utilizadas,

tal como quedó claramente presentado en el Apartado 6.3 en referencia al tamaño muestral idóneo para este tipo de investigaciones.

En cuanto a los resultados presentados en la TABLA 8.15, correspondientes a la finalización del proceso, destaca el hecho de que todos los esquemas conceptuales analizados presentan un nivel significativamente superior a favor del grupo experimental cuando se trabaja al 1% salvo en el caso del esquema **M31: Relación fuerza/movimiento sobre trayectorias rectas**. Para este esquema, donde inicialmente los estudiantes del grupo control tenían una puntuación más elevada, el tratamiento no ha introducido diferencias al nivel de significación elegido; sin embargo, si bajamos al 5 % aparecen también, diferencias a favor del grupo experimental.

Las diferencias estadísticamente significativas entre el grupo experimental y el de control -al final del proceso- para las ideas M1: influencia de la masa en la caída libre, M2: principio de acción y reacción, M32: relación fuerza/movimiento sobre trayectorias curvas y M4: principio de conservación de la energía, manifiestan el grado de eficacia del entrenamiento diferenciado, realizado por ambos grupos.

8.4.2. AREA DE ELECTRICIDAD.

En la TABLA 8.16 se presentan los datos obtenidos en el campo de la **Electricidad** para los alumnos correspondientes al **grupos control**, antes de comenzar el proceso y una vez que se ha concluido, especificando la distribución de contestaciones para cada uno de los niveles definidos al respecto.

Nivel Esquema	N1 (%)		N2 (%)		N3 (%)	
	inicial	final	inicial	final	inicial	final
E1	48	15	45	37	7	47
E2	58	45	37	27	5	27
E3	78	43	17	30	5	27
E4	55	25	23	30	22	45
media	60	32	30	31	10	37

TABLA 8.16. Resultados del grupo control para los esquemas conceptuales de Electricidad. Evaluación inicial/final

El estudio gráfico de comparación, utilizando estos datos y los recogidos en la TABLA 8.6 para el grupo experimental, aparece en las Figuras 8.21 y 8.22. Aquí se aprecia, nuevamente, la influencia del tratamiento efectuado sobre el grupo experimental cuyo porcentaje de respuestas correctas en la evaluación final, es superior para todos los esquemas investigados.

La aplicación de la prueba estadística U de Mann-Witney a la situación inicial y final para determinar la significatividad de las diferencias encontradas, suministra los resultados que aparecen en las TABLAS 8.17 y 8.18.

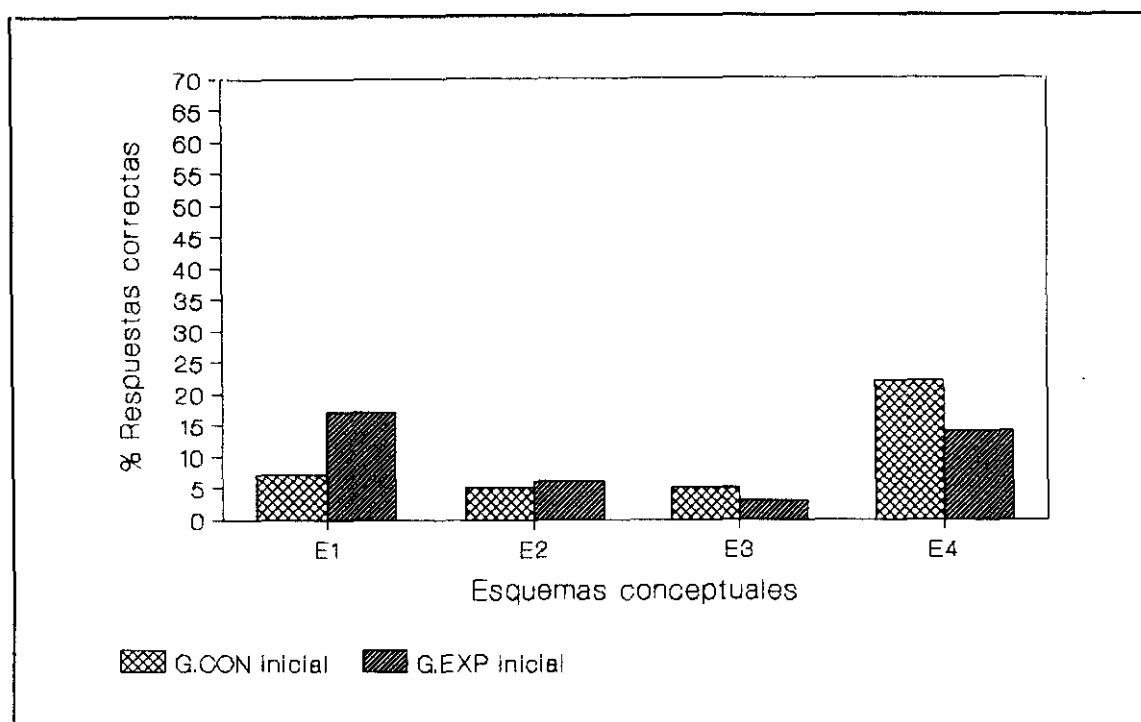


FIGURA 8.21. Comparación evaluación inicial/inicial para Grupo Experimental y Grupo Control en Electricidad

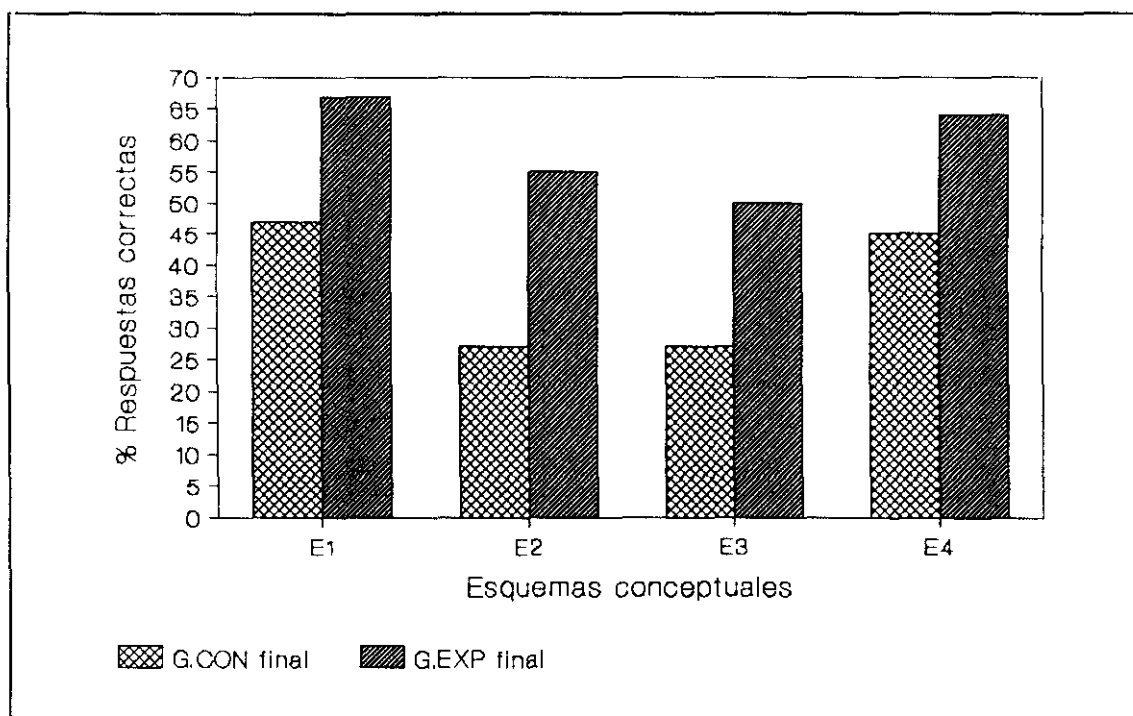


FIGURA 8.22. Comparación evaluación final/final para Grupo Experimental y Grupo Control en Electricidad

Gcon final	E1	E2	E3	E4
Gexp inicial				
E1	1,88			
E2		2,253		
E3			0,426	
E4				0,359

TABLA 8.17. Prueba U de Mann-Witney para determinar diferencias en el nivel inicial de Electricidad. Grupo experimental y de control.

Gcon final	E1	E2	E3	E4
Gexp inicial				
E1	1,80*			
E2		2,873**		
E3			2,844**	
E4				2,33**

* $P < 0,05$ ** $P < 0,01$

TABLA 8.18. Prueba U de Mann-Witney para determinar diferencias en el nivel final de electricidad. Grupo experimental y de control

El análisis de estos datos muestra, sin equívocos, que inicialmente no hay diferencias significativas entre los grupos experimental y control (una vez más se confirma la adecuada elección de la muestra). En cuanto a los resultados correspondientes a la comparación establecida al final del proceso concluimos que: **existen diferencias significativas (1%) a favor del grupo experimental, para todos los conceptos estudiados salvo para el esquema que hace referencia a la conservación de la corriente eléctrica en un circuito simple,** donde para apreciar diferencias debidas al tratamiento habría que bajar al nivel del 5 %.

8.4.3. CONCLUSIONES ACERCA DE LA CONTRASTACION DE LA HIPOTESIS 2.

Vamos a recoger ahora y a modo de conclusión final sobre la **Hipótesis 2**, las aportaciones que hemos ido realizando a lo largo de los dos apartados previos:

- Los dos grupos de estudiantes, experimental y control, antes de recibir un tratamiento diferenciado, no presentan diferencias significativas, en lo relativo a los esquemas conceptuales para los dos campos de conocimiento explorados.
- En lo relativo al campo de la **Mecánica**, al finalizar el proceso de entrenamiento en una metodología investigativa de resolución de problemas de enunciado abierto, todos los esquemas conceptuales analizados presentan un nivel significativamente superior, a favor del grupo experimental, salvo, en el caso del esquema M31;relación fuerza/movimiento sobre trayectorias rectas ($P < 0,01$).

- En el campo de la **Electricidad**, los resultados al final del proceso muestran que existen diferencias significativas, a favor del grupo experimental, para todos los conceptos estudiados salvo para el esquema E1: conservación de la corriente eléctrica en un circuito simple.

Si unificamos los resultados obtenidos en Mecánica con los de Electricidad podemos considerar **contrastada la HIPOTESIS 2** ya que, cuando se han comparado los niveles conceptuales adquiridos en el grupo experimental y de control, se ha encontrado que en ocho de los diez esquemas conceptuales investigados, se han producido diferencias significativas a favor del grupo experimental.

Vamos a terminar con una reflexión realizada a partir del análisis conjunto de los resultados obtenidos en la contrastación de las Hipótesis 1 y 2. El modelo propuesto para resolver problemas de enunciado abierto, ha cumplido los requisitos considerados necesarios para promover en los estudiantes un cambio conceptual significativo.

- La fase de emisión de hipótesis, etapa crucial del proceso, ha permitido a los sujetos explicitar sus ideas previas acerca de los conceptos incluidos en un determinado problema. Además, esta explicitación de ideas ha sido favorecida por las estrategias de metacognición desarrolladas a lo largo de todo el trabajo realizado por los estudiantes (verbalización del proceso, contraste con los otros miembros del grupo y con el profesor....).

- El análisis de resultados, la otra etapa fundamental del proceso, ha permitido la creación de *conflictos cognitivos* al comprobar la existencia de

posibles diferencias entre lo hipotetizado y los resultados obtenidos en un determinado problema, o la discrepancia entre éstos y los presupuestos teóricos.

A la vista de los resultados obtenidos, podemos concluir que, efectivamente, el método propuesto a los estudiantes para resolver problemas de enunciado abierto ha conseguido en ellos el cambio conceptual esperado, más eficaz que el usualmente conseguido dentro de nuestras aulas.

8.5. INFLUENCIA DE LAS DIFERENCIAS INDIVIDUALES EN EL CAMBIO CONCEPTUAL. CONTRASTACION DE LA HIPOTESIS 3.

En el **Capítulo 6** correspondiente al diseño de la investigación, la **Hipótesis 3** referente a la influencia que van a tener las diferencias individuales en el posible cambio conceptual experimentado por los estudiantes, quedó formulada de la siguiente manera:

HIPOTESIS 3: El cambio conceptual en las áreas de Mecánica y Electricidad experimentado por los estudiantes, entrenados en una metodología investigativa de resolución de problemas, va a depender de la interacción del tratamiento con otras variables como el estilo cognitivo dependencia-independencia de campo, el nivel de desarrollo del pensamiento formal y el sexo.

Tal como justificamos en su momento, esta hipótesis, lo mismo que la relativa a la influencia de las diferencias individuales en la eficacia a la hora de resolver problemas, son hipótesis no direccionales y en consecuencia, tal como comentamos en el Apartado 6.4.6, el tratamiento estadístico realizado para contrastar estas hipótesis ha sido un **análisis de correspondencias múltiples** que nos va a permitir, además de analizar la posible relación existente entre las variables, observar cómo está estructurada la relación *"describiendo proximidades que permiten identificar categorías causa de asociación"* (Bisquerra, 1989 b, p 435).

Vamos a comenzar nuestra exposición retomando el problema de la medición. De acuerdo con lo descrito en el Apartado 6.4.3, las diferencias individuales van a estar representadas por los valores que los sujetos han obtenido en el **test GEFT** para la medición del estilo cognitivo dependencia-independencia de campo y en el **test de Longeot** para determinar el nivel de desarrollo del pensamiento formal. En la primera prueba los alumnos han sido calificados con una escala de intervalo de cuatro valores consecuentes con la naturaleza del constructo **DIC** que estamos midiendo. De acuerdo con las puntuaciones obtenidas en el test de Longeot hemos clasificado a los sujetos en concretos, transición y formales consolidados. Hemos recogido también las puntuaciones obtenidas en los tests parciales **TL1:Inclusión de clase**, **TL2:Combinatoria**, **TL3:Lógica de Proposiciones** y **TL4: Probabilidades o proporciones**.

Para poder evaluar el **cambio conceptual** experimentado por los alumnos como consecuencia de su entrenamiento resolviendo problemas de Física, vamos a utilizar la misma categorización que la empleada para la contrastación de las **Hipótesis 1 y 2**, es decir tres niveles de respuesta para cada uno de los esquemas conceptuales tal como quedaron descritos en el Apartado 8.1. Así, tenemos para cada estudiante y en cada área, los resultados obtenidos en las pruebas iniciales, finales y de recuerdo (ver las TABLAS 8.1, 8.6 y 8.11).

Los tipos de medición que hemos descrito nos definen escalas ordinales apropiadas para el análisis estadístico que vamos a realizar mediante la utilización de dos procedimientos distintos. En un primer análisis vamos a utilizar como *variables básicas*, que van a definir los factores, únicamente las que van a marcar, *a priori*, las diferencias individuales, es decir, las correspondientes al estilo cognitivo dependencia de campo, al nivel de desarrollo formal y al sexo. Las categorías establecidas a partir de las áreas de contenido exploradas, van a

ser introducidas como *variables suplementarias* es decir, vamos a posicionar los perfiles de estos nuevos puntos con respecto a los ejes ya definidos (Lebart et al. 1985).

En un segundo análisis introduciremos todas las variables que tenemos definidas en nuestro problema como *variables básicas* depurando, en este caso, la matriz de entrada mediante la utilización de los resultados del primer análisis. La finalidad de realizar este segundo estudio ha sido de comprobación de los resultados obtenidos, pues una semejanza entre ambas representaciones avalaría la *existencia* de las relaciones entre variables que vamos buscando.

Las categorías correspondientes a las variables se han nombrado, para su utilización en los análisis, con las abreviaturas que se presentan a continuación:

Test GEFT: Nivel 1: DIC- MBA (Muy Bajo)

Nivel 2: DIC- BA (Bajo)

Nivel 3: DIC- ME (Medio)

Nivel 4: DIC- AL (Alto)

Test de Longeot: Sujetos concretos: LON-BA (Bajo)

Sujetos en transición: LON- ME (Medio)

Sujetos formales: LON- AL (Alto)

Sexo: H: Hombres

M: Mujeres

Para cada uno de los subtest en que está dividido la prueba de Longeot, se han establecido las mismas abreviaturas que para el test global.

Las variables correspondientes a los esquemas de **Mecánica** y de **Electricidad**, se han representando con una nomenclatura similar a la utilizada en las variables básicas. Mostramos, a modo de ejemplo, las abreviaturas

correspondientes a los niveles definidos para el esquema **M1** en la evaluación inicial.

Mecánica inicial, variable 1: Nivel 1: M1i- BA (Bajo)

Nivel 2: M1i- ME (Medio)

Nivel 3: M1i- AL (Alto)

Antes de presentar los resultados de los análisis de correspondencias, indicaremos que dentro del grupo experimental constituido por un 44.5% de hombres y un 55.5% de mujeres, hemos identificado para el test GEFT, la siguiente distribución de acuerdo con los niveles definidos: **Nivel 1**, 5%; **Nivel 2**, 30.5%; **Nivel 3**, 20% y **Nivel 4**, 44.5%. En lo que respecta al test de Longeot, se han contabilizado un 25% de sujetos concretos, un 36% de sujetos en transición y un 39% de sujetos formales.

8.5.1. RESULTADOS CORRESPONDIENTES AL PRIMER ANALISIS

Tal como hemos justificado anteriormente, en este primer caso se han introducido como *variables básicas* las relativas al test GEFT, al test de Longeot y al sexo de los individuos y como *variables suplementarias* las obtenidas en las áreas de **Mecánica** y de **Electricidad**. A continuación presentamos los resultados.

● Estudio para las variables básicas.

Una vez efectuado el análisis, los resultados obtenidos se recogen en distintas tablas. En primer lugar, en la TABLA 8.19 aparecen los autovalores asociados a los catorce primeros factores juntamente con el porcentaje de inercia, los porcentajes acumulados y su correspondiente histograma. La Tabla 8.20

refleja, para el conjunto de las variables básicas, las coordenadas en los cuatro primeros factores, así como las correspondientes *contribuciones relativas*, **COR** (correlaciones entre elemento- factor, que expresan la contribución de un factor a la "explicación" de la dispersión de un elemento) y *contribuciones absolutas*, **CTR** (proporción de la variabilidad explicada por un factor debida a un elemento),(Bisquerra, 1989 b, Lebart et al., 1985).

FACT.	AUTO VALORES	% DE INERCIA	% ACUMULADO	HISTOGRAMA
1	0,616	30,8	30,8	*****
2	0,352	17,6	48,4	*****
3	0,216	10,8	59,3	*****
4	0,175	8,7	68,0	*****
5	0,155	7,7	75,7	*****
6	0,138	6,9	82,6	*****
7	0,106	5,3	87,9	***
8	0,104	5,2	93,1	***
9	0,049	2,5	95,6	*
10	0,035	1,7	97,3	*
11	0,029	1,4	98,8	*
12	0,015	0,8	99,6	
13	0,007	0,3	99,9	
14	0,002	0,1	100,0	

TABLA 8.19. Autovalores y porcentajes absolutos y acumulados de los factores

CATEGORIA	QLT	INR	FACTOR COR CTR			FACTOR COR CTR			FACTOR COR CTR			FACTOR COR CTR		
			EJE 1			EJE 2			EJE 3			EJE 4		
1 DIC-MBA	0.373	0.135	-1.810	0.193	0.042	-1.027	0.062	0.024	-1.080	0.069	0.043	-0.923	0.050	0.039
2 DIC-BA	0.450	0.131	-1.549	0.218	0.046	-1.068	0.104	0.039	-0.148	0.002	0.001	-1.177	0.126	0.094
3 DIC-ME	0.553	0.099	-0.509	0.114	0.018	0.892	0.350	0.099	-0.015	0.000	0.000	0.449	0.089	0.050
4 DIC-AL	0.890	0.063	0.893	0.601	0.082	-0.228	0.065	0.012	0.138	0.024	0.007	0.022	0.001	0.000
5 LON-BA	0.954	0.107	-1.587	0.839	0.146	-0.581	0.117	0.034	0.055	0.001	0.000	0.064	0.001	0.001
6 LON-ME	0.913	0.091	0.103	0.008	0.001	1.221	0.842	0.218	-0.014	0.000	0.000	-0.339	0.065	0.034
7 LON-AL	0.959	0.087	0.925	0.544	0.077	-0.760	0.388	0.091	-0.023	0.000	0.000	0.274	0.048	0.024
8 LT1-BA	0.808	0.107	-1.472	0.723	0.128	-0.403	0.054	0.016	0.141	0.007	0.003	0.272	0.025	0.015
9 LT1-ME	0.724	0.107	0.117	0.005	0.001	1.425	0.877	0.208	-0.091	0.003	0.001	-0.346	0.040	0.025
10 LT1-AL	0.722	0.071	0.678	0.459	0.053	-0.511	0.261	0.053	-0.025	0.001	0.000	0.037	0.001	0.001
11 LT2-BA	0.898	0.103	-0.932	0.334	0.058	0.026	0.000	0.000	0.972	0.364	0.173	0.018	0.000	0.000
12 LT2-ME	0.888	0.087	-0.113	0.008	0.001	0.554	0.196	0.048	-1.014	0.854	0.264	0.127	0.010	0.005
13 LT2-AL	0.719	0.095	0.908	0.412	0.084	-0.669	0.224	0.060	0.372	0.069	0.030	-0.164	0.011	0.007
14 LT3-BA	0.423	0.095	-0.861	0.371	0.057	0.001	0.000	0.000	-0.313	0.049	0.022	0.080	0.003	0.002
15 LT3-ME	0.547	0.063	0.334	0.139	0.014	0.150	0.028	0.005	0.448	0.251	0.074	-0.320	0.128	0.047
16 LT3-AL	0.618	0.127	0.914	0.104	0.021	-0.751	0.070	0.025	-1.302	0.212	0.124	1.361	0.232	0.169
17 LT4-BA	0.916	0.115	-1.695	0.614	0.115	-0.809	0.158	0.052	-0.435	0.046	0.024	-0.636	0.098	0.064
18 LT4-ME	0.756	0.131	-1.069	0.104	0.022	0.566	0.029	0.011	1.966	0.351	0.213	1.727	0.271	0.203
19 LT4-AL	0.888	0.040	0.553	0.794	0.051	0.153	0.060	0.007	-0.110	0.031	0.008	-0.028	0.002	0.000
20 SEX-H	0.403	0.079	0.376	0.113	0.015	-0.046	0.002	0.000	0.161	0.021	0.008	-0.579	0.268	0.122
21 SEX-M	0.403	0.063	-0.301	0.113	0.012	0.036	0.002	0.000	-0.129	0.021	0.008	0.463	0.268	0.098

QLT: Calidad INR: Inercia COR: Contribuciones relativas CTR: Contribuciones absolutas

TABLA 8.20. Coordenadas y contribuciones relativas y absolutas de las categorías de las variables en los cuatro primeros factores

Pasamos ahora a realizar algunas consideraciones importantes. En primer lugar, del conjunto de factores obtenidos, el **68%** de la inercia acumulada corresponde a los cuatro primeros, porcentaje considerado *muy aceptable* lo que nos ha llevado a seleccionarlos para la realización de nuestro análisis de correspondencias. Además, conviene destacar que los dos primeros factores explican un **48%** de la inercia total, valor *aceptable* en este tipo de estudios y que hemos considerado suficiente para algunos de los análisis.

Por otra parte, el **81%** de las variables definidas para este estudio, presentan para el parámetro *Calidad : QLT* (obtenido como suma de sus contribuciones relativas, **COR**, de cada variable a los cuatro primeros factores) un valor por encima de **0,5**, que puede considerarse umbral en estos análisis. Además, un porcentaje del **62%** de las variables, superan el valor de **0,7** considerado *aceptable*. Si hacemos una observación detallada, encontramos que la variable que presenta mayor calidad, **QLT**, sería la correspondiente al test de Longeot considerado como prueba global, donde el parámetro **QLT** tiene un valor medio muy aceptable, **0,942**. La variable peor calificada sería la correspondiente al sexo, con una **QLT** de **0,403** que no supera el valor umbral comentado.

Respecto al análisis sobre las variables que son responsables de la construcción de los factores, la observación de los valores de las *contribuciones absolutas*, **CTR**, junto con las coordenadas que presentan en cada uno de los ejes, nos lleva a deducir que:

- El primer factor, que explica un porcentaje de inercia del **30,8%**, viene definido fundamentalmente por la contraposición entre los valores altos y los valores bajos de las puntuaciones obtenidas en el test global de Longeot, en los

tests parciales **LT1**, **LT4** y en el **GEFT**, (estas variables explican el 76 % de la varianza de este factor).

- El segundo factor, que explica un **17,6%** de la inercia, está definido por la contraposición de los valores intermedios de los tests citados en el punto anterior, frente a las puntuaciones extremas obtenidas en los mismos.

- En los **factores 1 y 3** hay una contribución significativa de las variables obtenidas a partir de los resultados de las pruebas **LT2** y **LT3** , quedando por tanto estas variables bien definidas en los ejes **1 y 3**.

- La variable **sexo** contribuye fundamentalmente a los **factores 1 y 4** aunque con una **QLT**, como comentábamos anteriormente, que no supera el valor umbral.

La representación gráfica de este conjunto de variables para los **factores 1 y 2** se presenta en la Figura 8.23 y de su observación podemos destacar como dato relevante **la proximidad que aparece entre los valores del test GEFT y los correspondientes al test de Longeot, considerado globalmente**. En cuanto a los tests parciales, las que presentan una mayor proximidad con el constructo **DIC**, son las categorías deducidas de la corrección de las pruebas **LT1** y **LT4**, estando más alejadas las correspondientes a **LT2** y **LT3**. La variable **sexo** no guarda relación con las categorías definidas para las variables cognitivas.

La valoración de todos los resultados obtenidos en esta primera fase del análisis de correspondencias, arroja consecuencias muy interesantes para intentar relacionar aspectos integrados en la Psicología Cognitiva con resultados obtenidos en el campo de la Didáctica de las Ciencias (**Capítulo 5**).

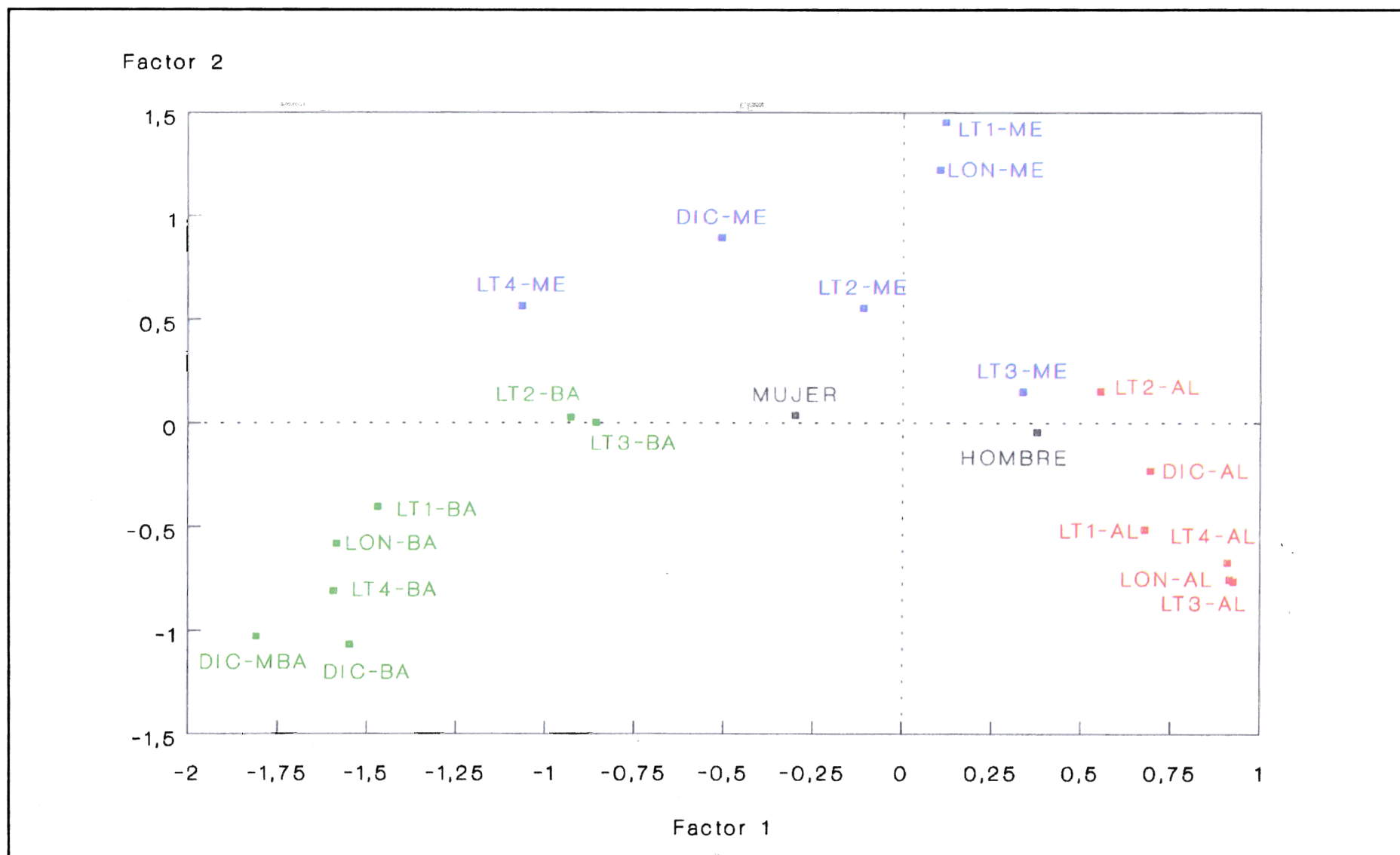


FIGURA 8.23: Representación de las variables estilo cognitivo, nivel de pensamiento formal y sexo sobre el plano definido por los factores 1 y 2.

En la línea que estamos comentando, los estudios realizados ponían de manifiesto una relación bastante clara entre los estilos cognitivos, y concretamente el estilo dependencia- independencia de campo, y el desarrollo del pensamiento formal, todo ello encuadrado en la posible diferenciación entre la *competencia formal* que poseen casi todos los adultos y la *competencia de actuación* que presentan en un campo determinado, matizada claramente por su estilo cognitivo (Pascual-Leone, 1978; Carretero, 1980 b). Así, la asociación que podemos deducir del análisis efectuado entre las categorías correspondientes a la variable DIC y las que miden el desarrollo del pensamiento formal, apoyaría las aportaciones de otros autores tanto fuera de nuestro país (Case, 1974; Huteau, 1980; Niaz, 1989 a, 1991) como dentro de él (Carretero, 1982; Corral, 1982; López-Rupérez et al, 1991).

Si pasamos a analizar los datos correspondientes a los **tests parciales de Longeot**, veremos que aparecen resultados distintos para cada uno de ellos. Conclusiones similares han sido apuntadas por otros autores que indican claramente la influencia de los contenidos específicos en la realización de las tareas.

En coherencia con estas ideas, la relación que hemos encontrado entre las variables medidas por el test **LT4: Cálculo de probabilidades** y el estilo cognitivo **DIC**, coincide con aportaciones de la bibliografía citada anteriormente aunque algunos autores muestran ciertas reservas. En cuanto a la menor relación hallada entre **LT2: Cálculo combinatorio** y la variable **DIC** coincidimos con las aportaciones realizadas por M. Carretero que, en su revisión sobre el tema (1982), la califica de moderada.

En cuanto a considerar que el sexo de los individuos está relacionado con las variables cognitivas que hemos investigado, la mayor parte de los trabajos consultados se inclinan hacia este tipo de influencia, fundamentalmente para el estilo cognitivo DIC, en el sentido de considerar que las mujeres son más dependientes de campo (Fernández Ballesteros, 1980; García Ramos, 1989; Witkin et al., 1987), aunque hay que señalar que, en general, estas diferencias se consideran leves. Sin embargo nuestros resultados en este aspecto son concluyentes: ni los parámetros obtenidos en el análisis, ni la observación de las representaciones gráficas nos llevan a afirmar que **las diferencias intersexuales estén asociadas significativamente con el resto de las variables estudiadas.**

- **Estudio para las variables suplementarias**

Dentro del análisis de correspondencias que hemos realizado, se introdujeron en el programa, como **variables suplementarias**, los resultados de las pruebas de detección de esquemas conceptuales correspondientes a la fase inicial, final y de recuerdo para las dos áreas investigadas. En la presentación de resultados comenzaremos por analizar las representaciones que se obtienen considerando únicamente los dos primeros factores que, como comentamos en el apartado anterior, explican un **48%** de la inercia total. Las gráficas obtenidas aparecen en las Figuras 8.24 y 8.25 en lo que respecta a la evaluación inicial y final del área de **Mecánica**. Para la **Electricidad** las representaciones gráficas correspondientes a la evaluación inicial, final y de recuerdo, se presentan en las Figuras 8.26, 8.27 y 8.28.

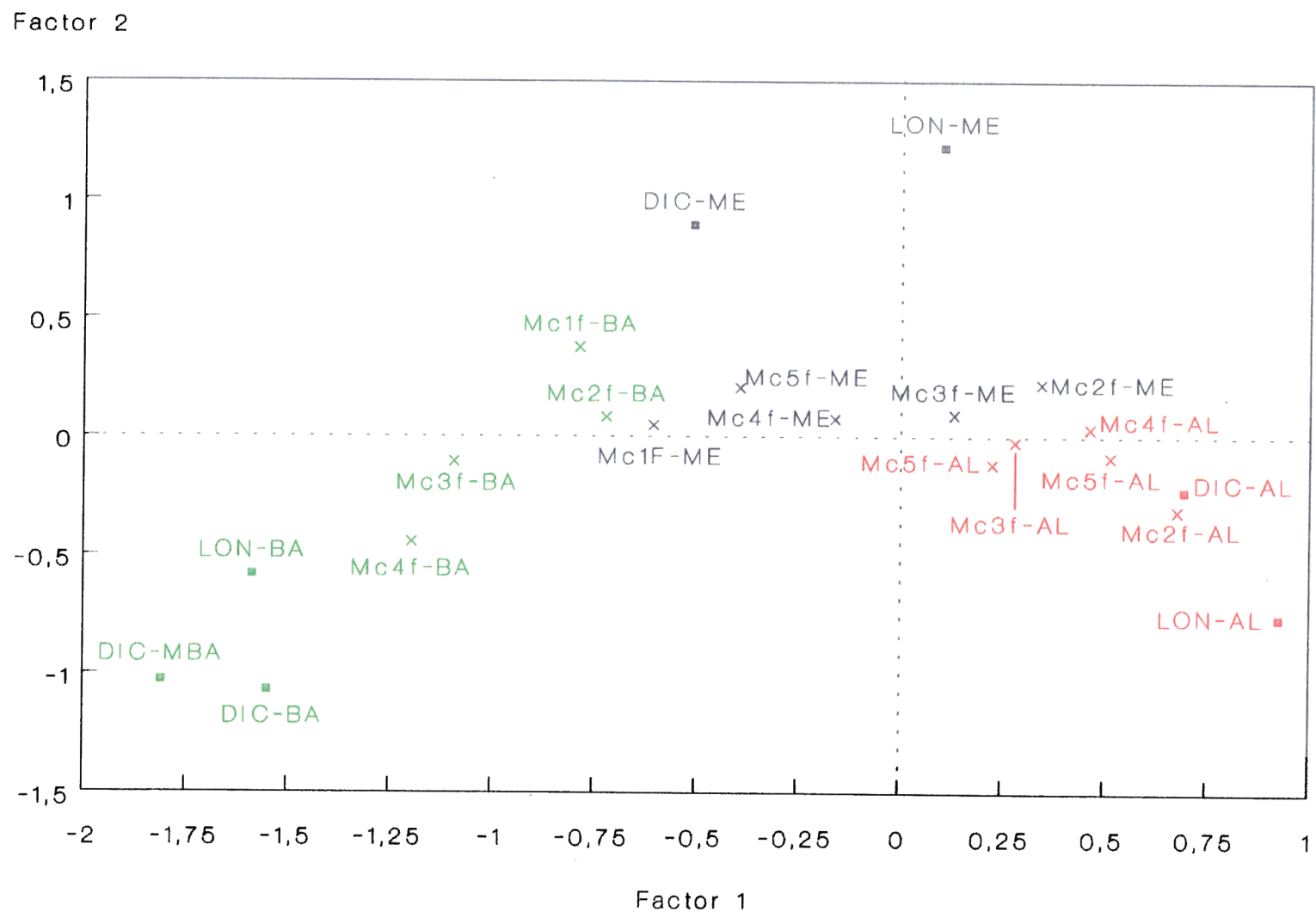


FIGURA 8.25: Representación de las variables Mecánica final y cognitivas sobre el plano definido por los factores 1 y 2.

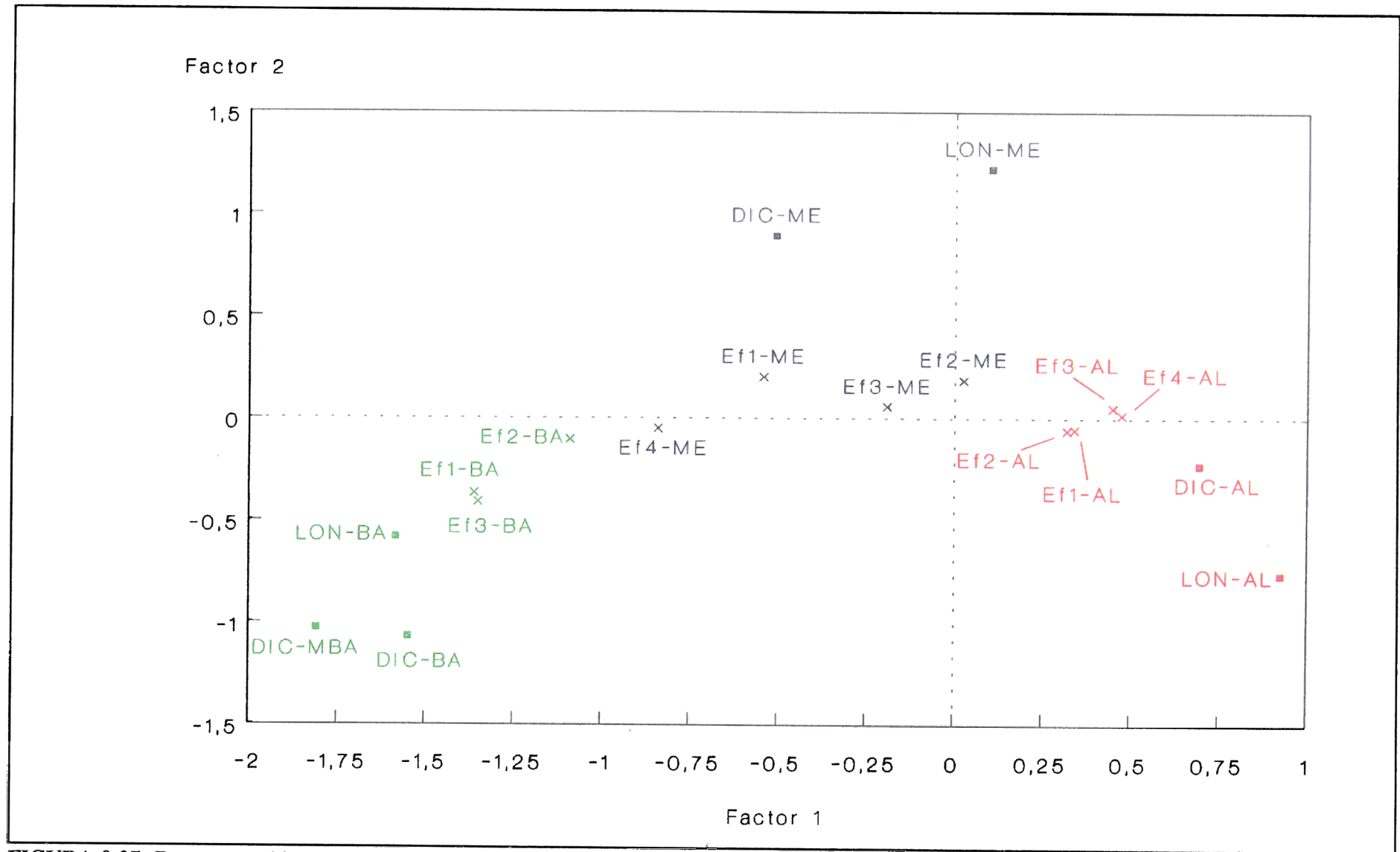


FIGURA 8.27: Representación de las variables Electricidad final y cognitivas sobre el plano definido por los factores 1 y 2.

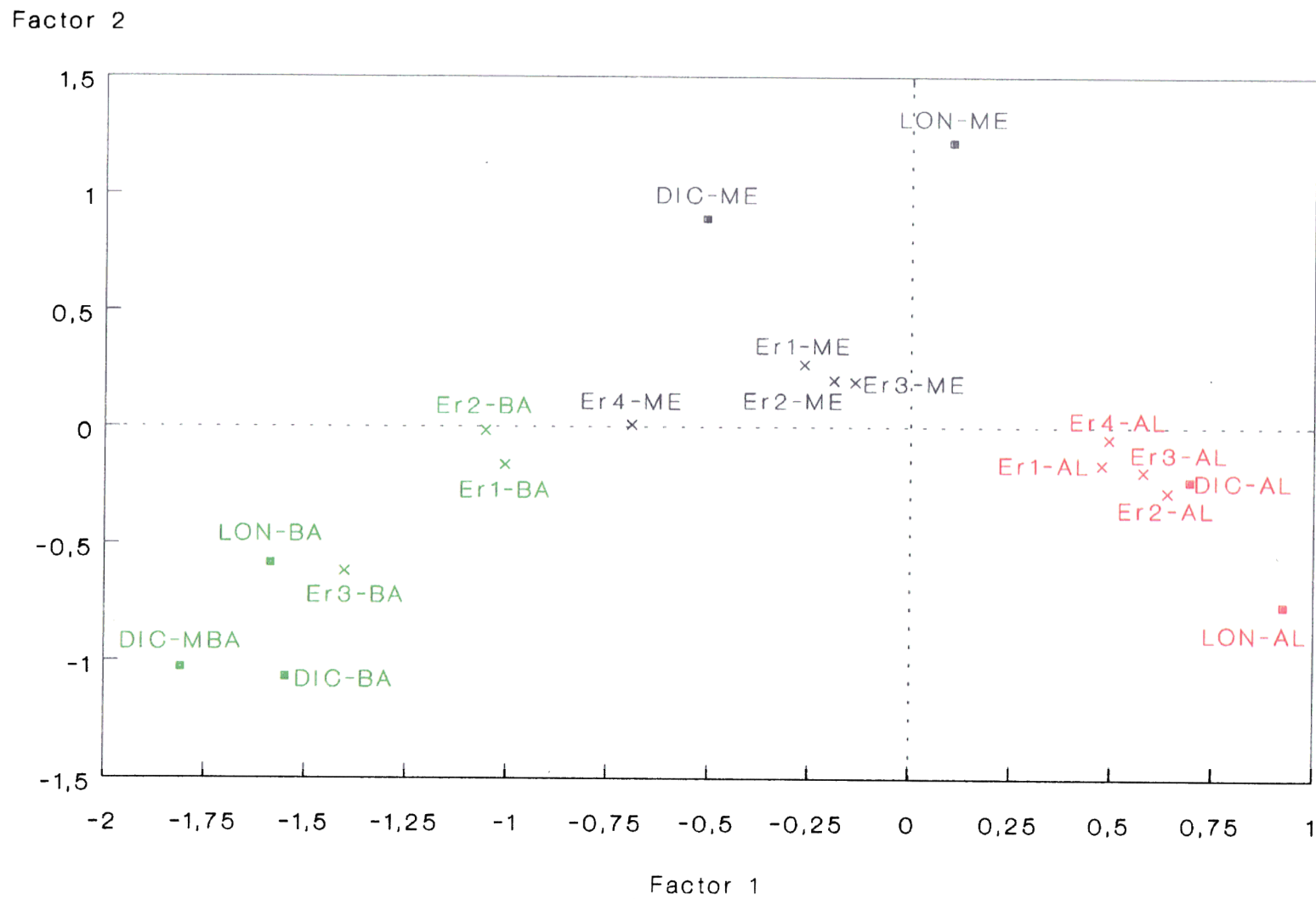


FIGURA 8.28: Representación de las variables Electricidad recuerdo y cognitivas sobre el plano definido por los factores 1 y 2.

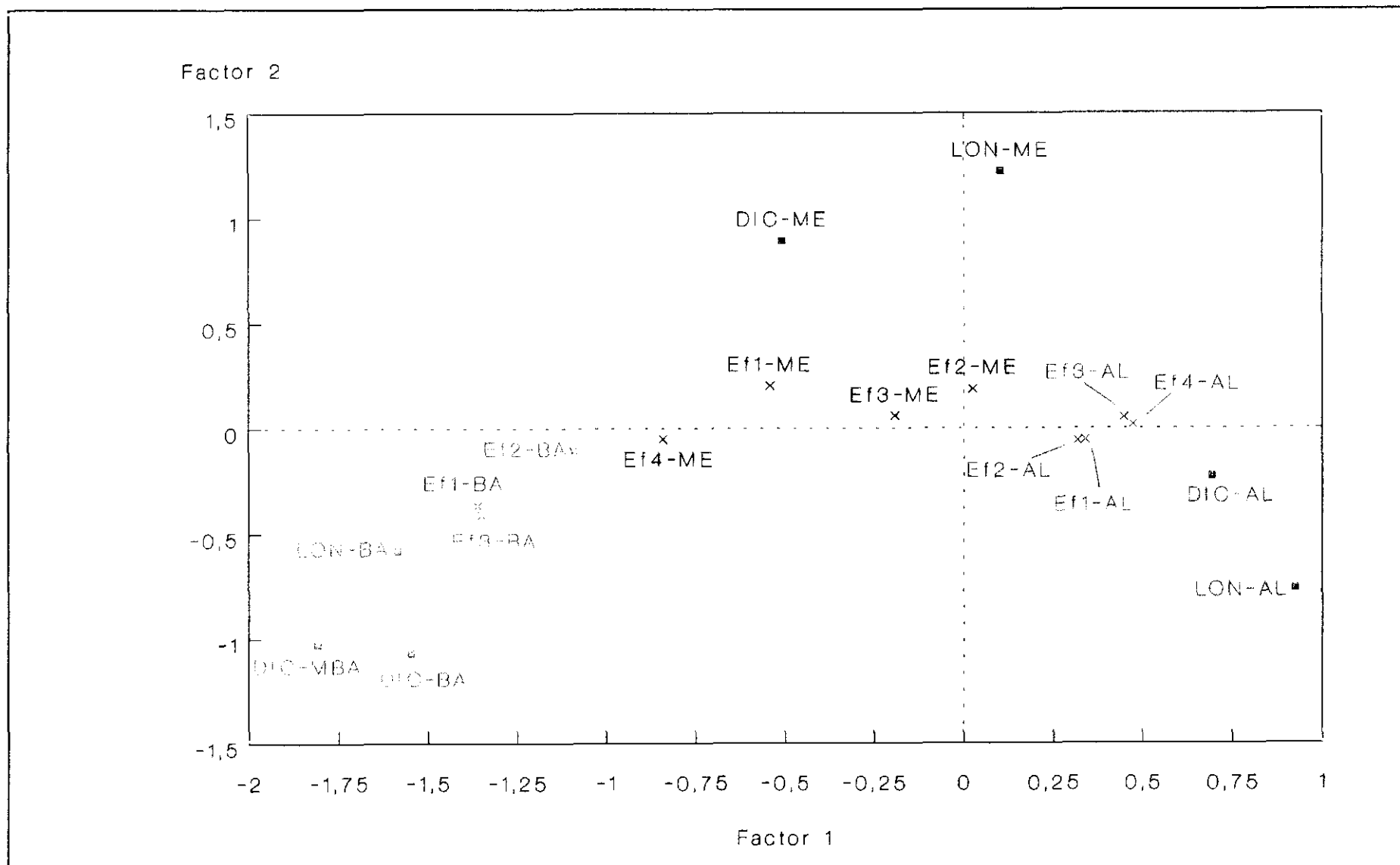


FIGURA 8.27: Representación de las variables Electricidad final y cognitivas sobre el plano definido por los factores 1 y 2.

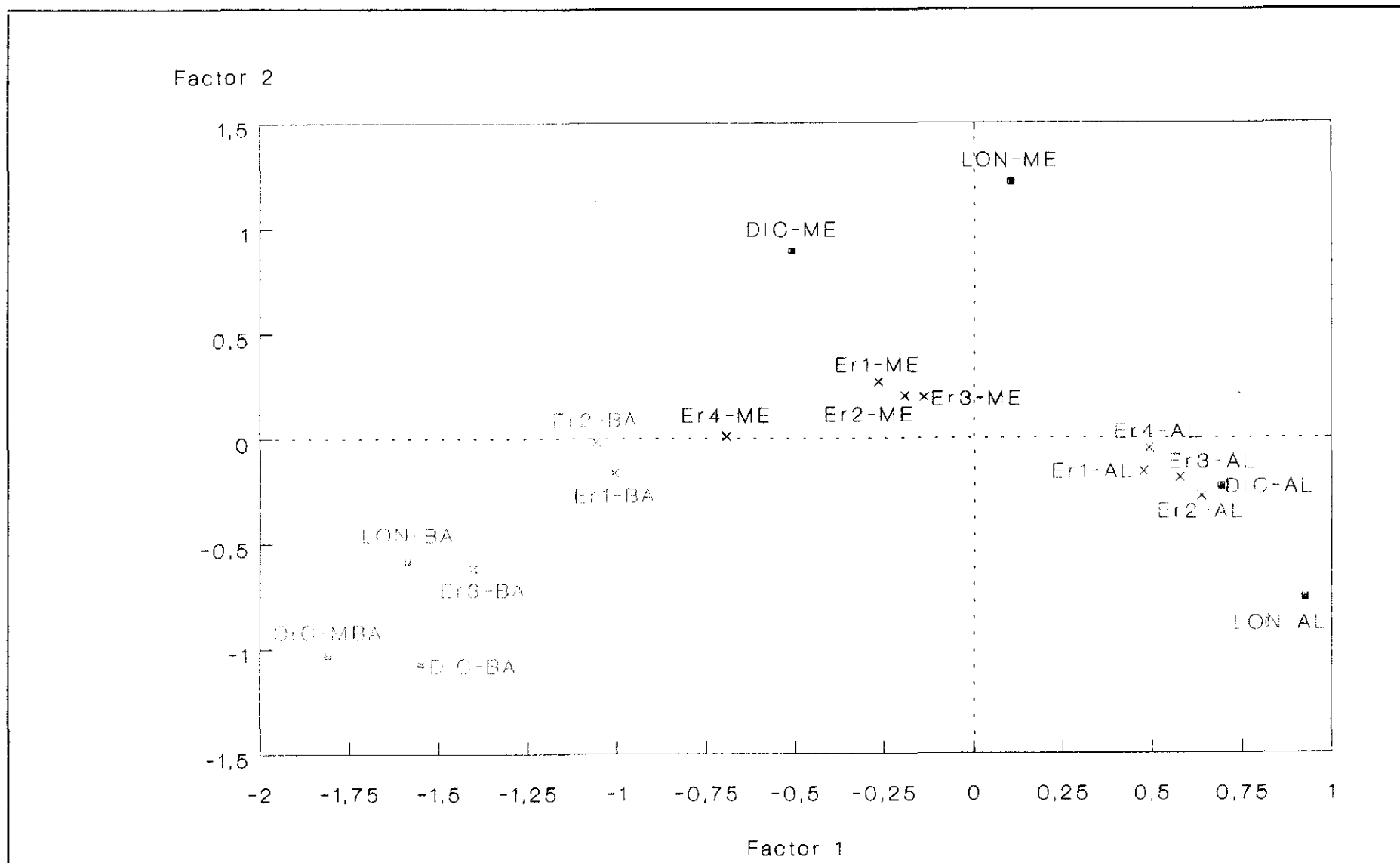


FIGURA 8.28: Representación de las variables Electricidad recuerdo y cognitivas sobre el plano definido por los factores 1 y 2.

Para el análisis gráfico, comenzaremos por comentar el correspondiente a la **evaluación inicial o de diagnóstico** para las dos áreas investigadas (ver Figuras 8.24 y 8.26). En los dos casos obtenemos una nube de puntos concentrada claramente alrededor del origen de coordenadas o centro de la representación, no apreciándose diferenciación de acuerdo con los **factores 1 y 2** tal como han quedado definidos en este estudio.

Por otra parte, de la observación de las representaciones correspondientes a la **evaluación final** y de **recuerdo** (ver Figura 8.25 8.27 y 8.28), se desprende la existencia de dos polos claramente definidos. Un primer polo, en la parte derecha del **eje 1**, donde se encontrarían las categorías correspondientes a los valores altos en las pruebas de determinación de esquemas conceptuales, gráficamente muy cercanos a los puntos que representan valores altos del test de Longeot y del GEFT. En el extremo opuesto de este eje, aparece un segundo polo formado por las puntuaciones bajas de las pruebas mencionadas junto con los resultados más bajos obtenidos para las variables de tipo cognitivo. El eje vertical, **eje 2**, no introduce diferenciación ya que las puntuaciones intermedias de los individuos aparecen próximas al origen de coordenadas y alejadas de los correspondientes valores de las **variables DIC y Longeot**.

Para valorar los resultados obtenidos, podemos observar que las gráficas correspondientes al final del proceso (ver Figuras 8.25 y 8.27), tanto en el campo de la **Mecánica** como en el de la **Electricidad**, presentan una característica destacable: las categorías correspondientes a las puntuaciones elevadas para todas las pruebas empleadas en la investigación, guardan una gran proximidad entre sí. Dado, que en los análisis de correspondencias múltiples, **proximidad es sinónimo de asociación**, podemos concluir que los alumnos, como consecuencia del tratamiento efectuado, utilizan sus conocimientos conceptuales con un grado

mayor de coherencia. Este resultado coincide con el obtenido en la contrastación de la **Subhipótesis H1.2** referente a la **coherencia interna** adquirida por los individuos del grupo experimental en el cambio conceptual.

Continuando con la presentación de resultados, vamos a comentar las representaciones obtenidas para las variables suplementarias correspondientes a la evaluación final- **Mecánica** y **Electricidad**- en los ejes 3 y 4 definidos fundamentalmente, como comentamos en el apartado anterior, por las variables básicas **LT2**, **LT3** y el **sexo**. No se presentan las correspondientes a las evaluaciones iniciales pues ya hemos visto, sobre los ejes 1 y 2, su falta de asociación con las variables cognitivas.

Las Figuras 8.29 a 8.34 recogen las representaciones correspondientes a este tipo de variables deduciéndose de su observación lo siguiente:

- Tanto para **Mecánica** como para **Electricidad**, aparecen asociaciones relevantes con los resultados extremos, *alto* y *bajo*, del test parcial de Longeot **LT2: Combinatoria**. De nuevo, los valores *medios* no aportan ninguna información.

- En lo relativo al test **LT3: Lógica de proposiciones**, la representación correspondiente nos muestra que no existe asociación clara entre sus valores y los correspondientes a las variables de contenido.

- Análogo resultado ocurre con la **variable sexo**. Los hombres y las mujeres quedan separados en los ejes 1 y 4 no existiendo proximidades con los valores correspondientes de las variables de Mecánica y de Electricidad.

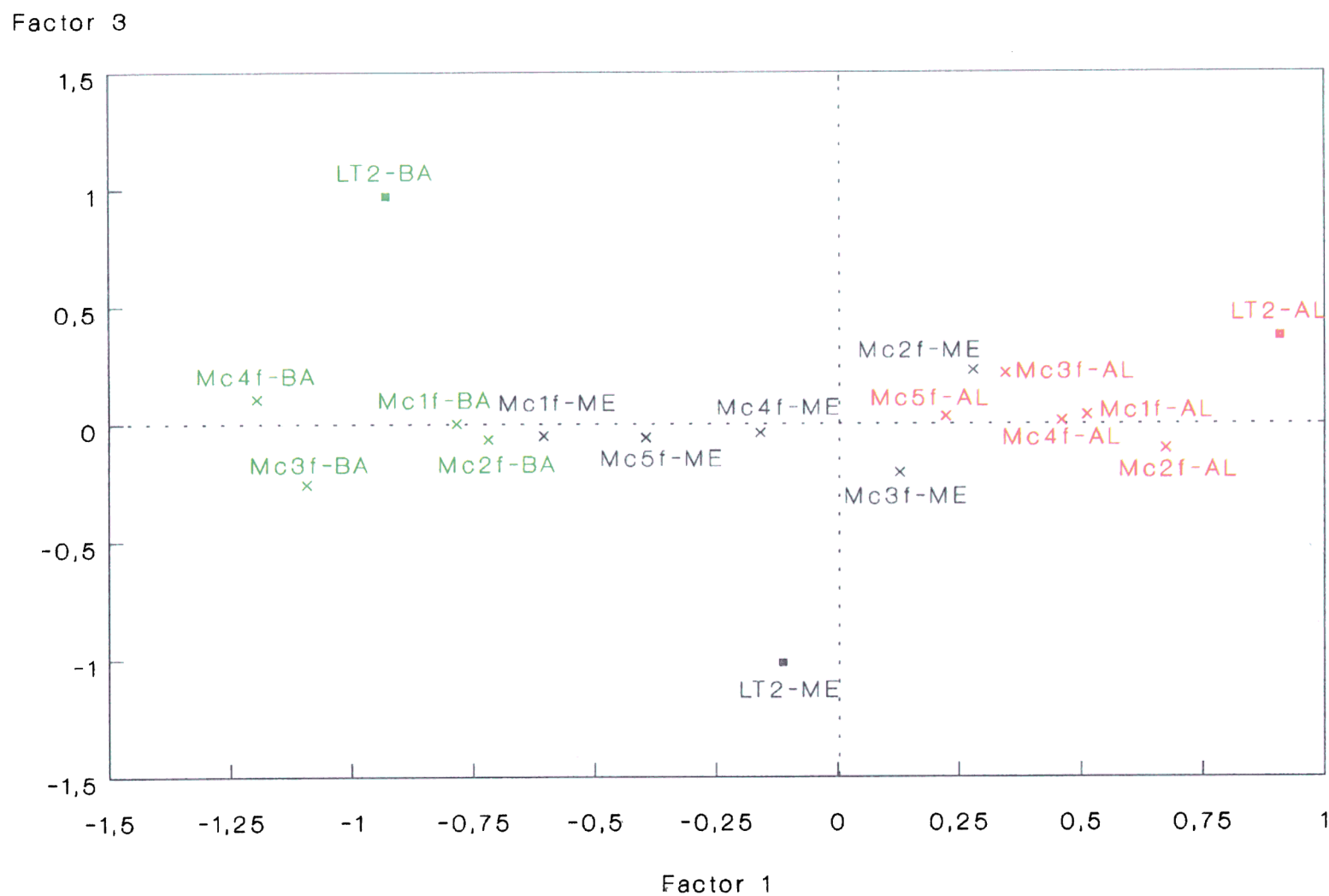


FIGURA 8.29: Representación de las variables Mecánica final y cálculo combinatorio sobre el plano definido por los factores 1 y 3.

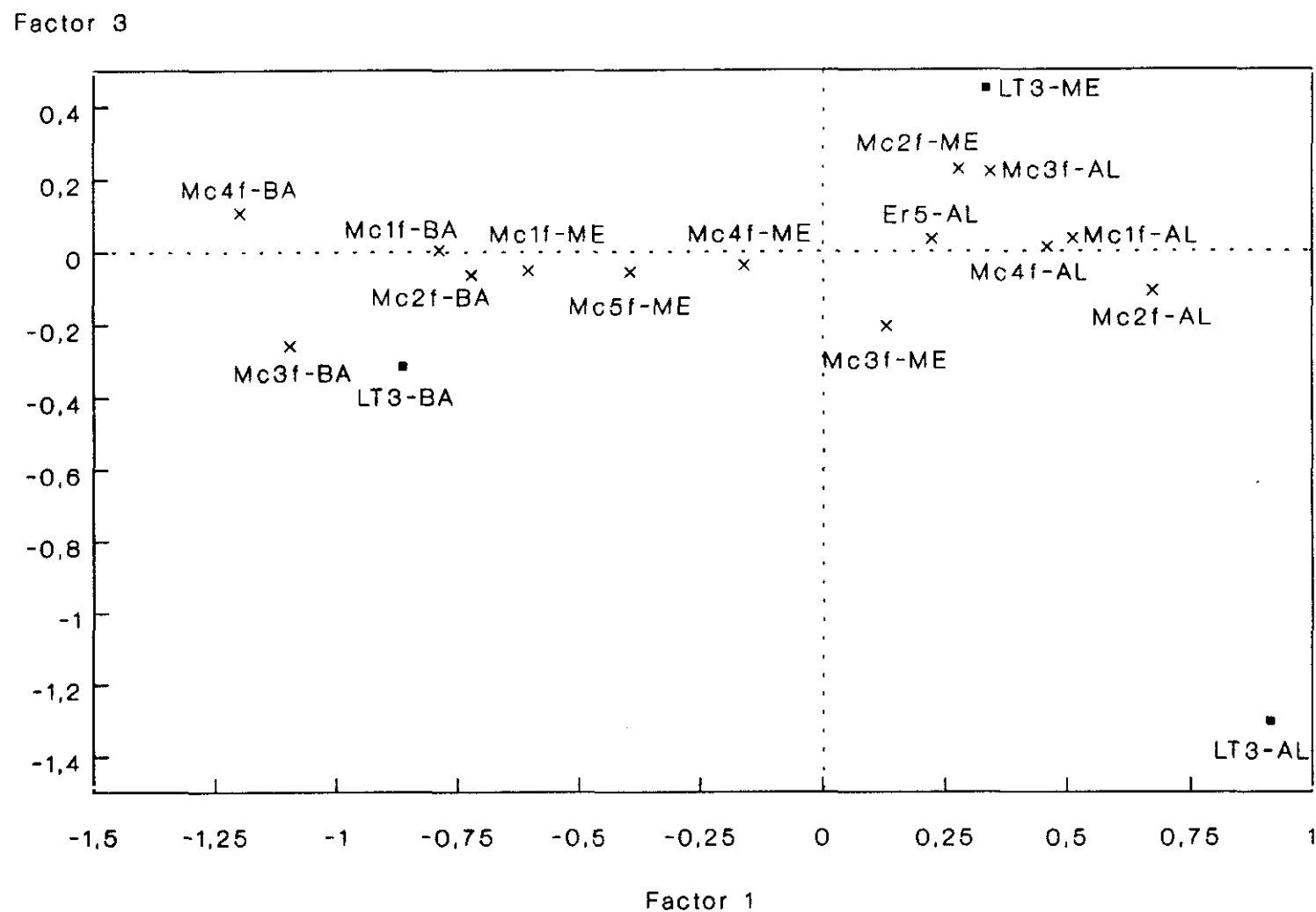


FIGURA 8.30: Representación de las variables Mecánica final y lógica de proposiciones sobre el plano definido por los factores 1 y 3.

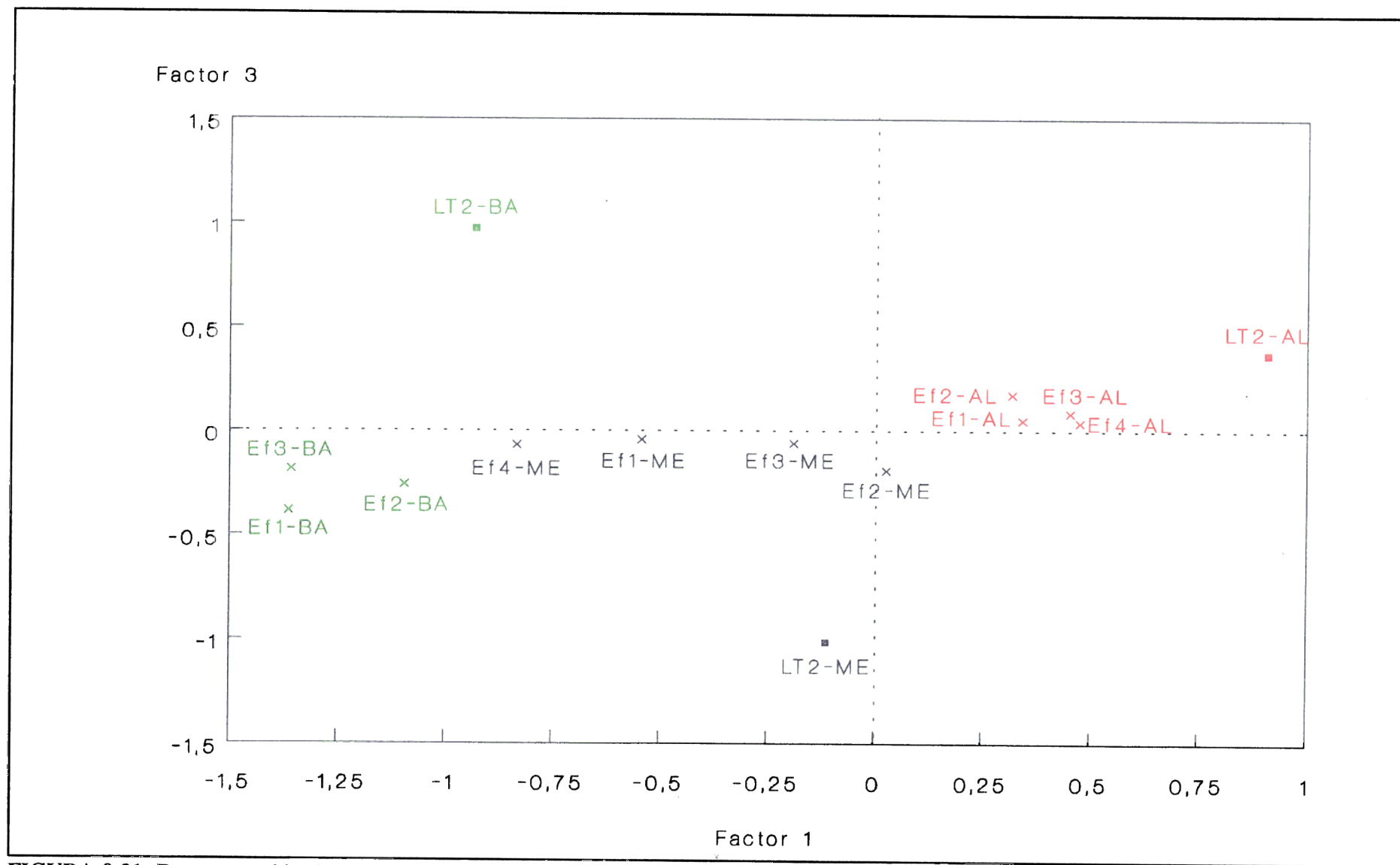


FIGURA 8.31: Representación de las variables Electricidad final y cálculo combinatorio sobre el plano definido por los factores 1 y 3.

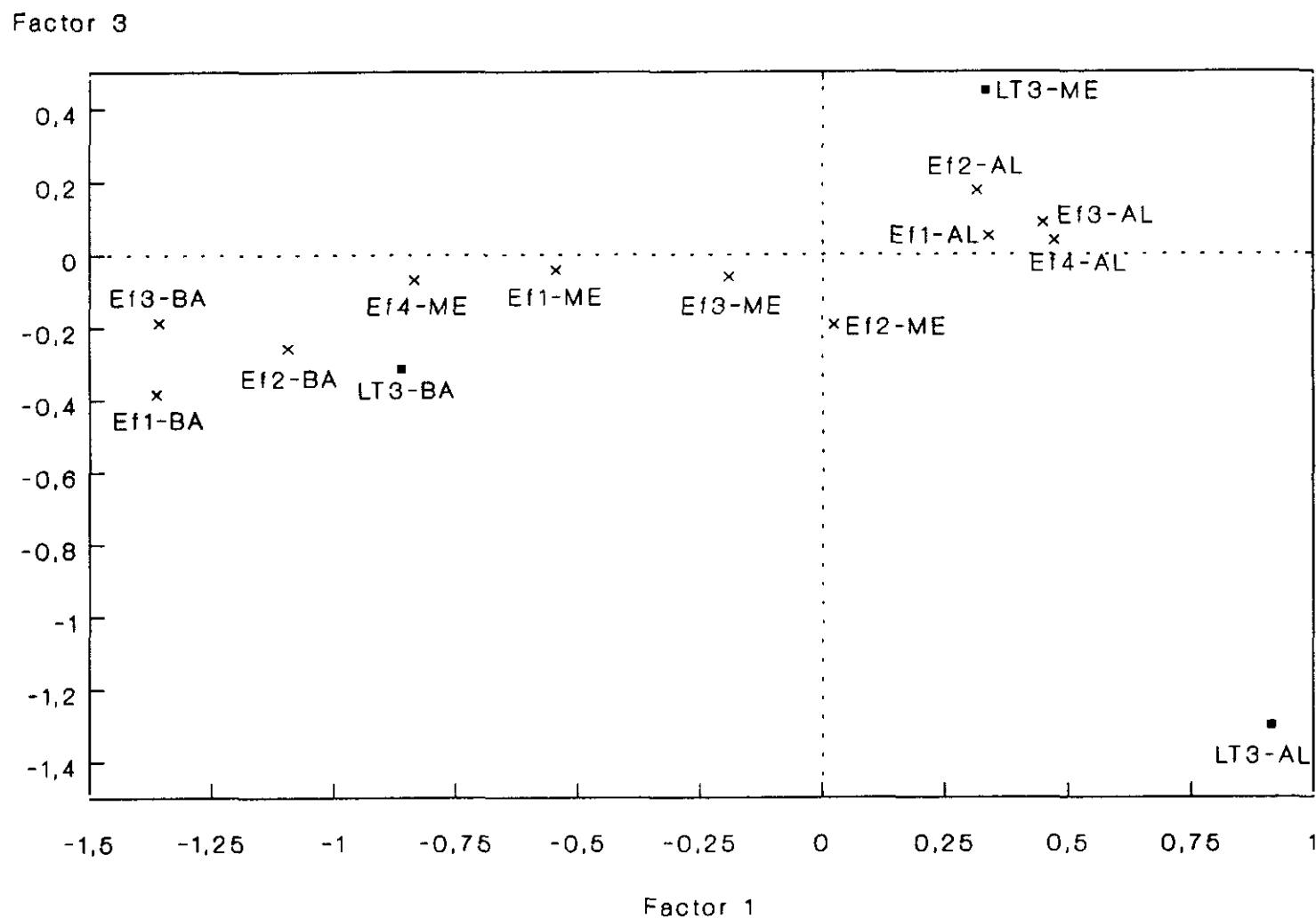


FIGURA 8.32: Representación de las variables Electricidad final y lógica de proposiciones sobre el plano definido por los factores 1 y 3.

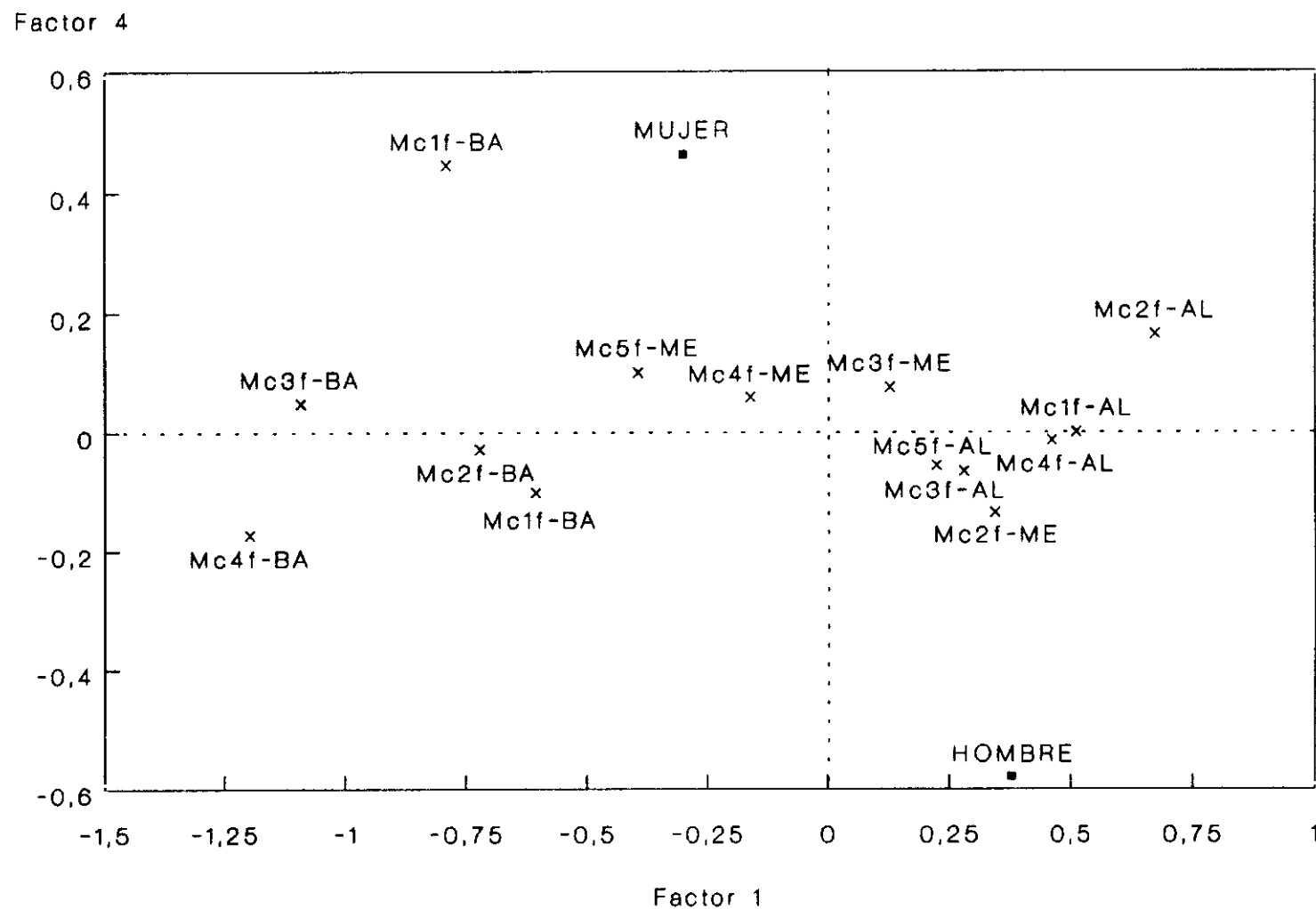


FIGURA 8.33: Representación de las variables Mecánica final y sexo sobre el plano definido por los factores 1 y 4.

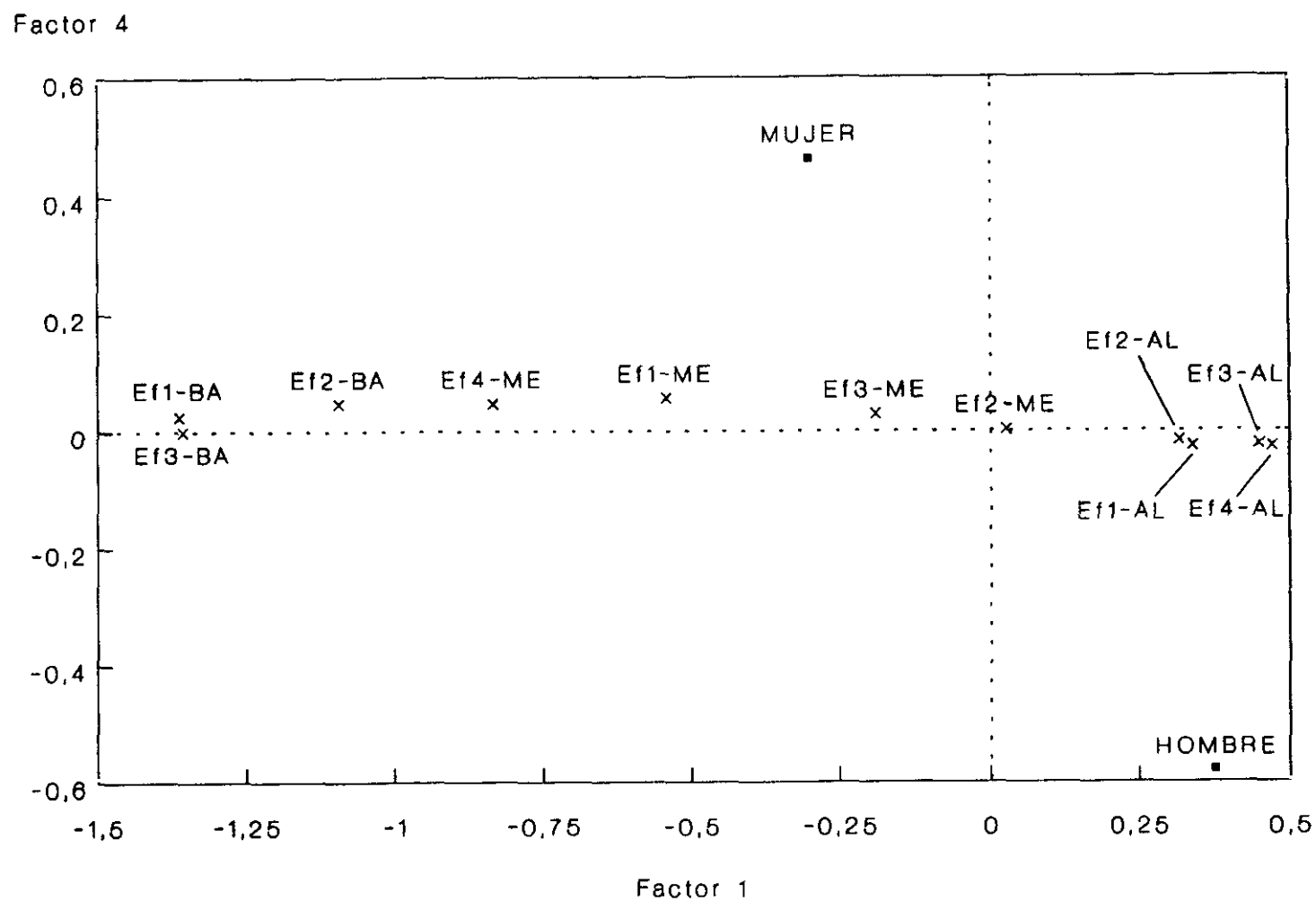


FIGURA 8.34: Representación de las variables Electricidad final y sexo sobre el plano definido por los factores 1 y 4.

Con todos los resultados que venimos comentando, podemos afirmar que **las diferencias individuales, expresadas a partir del estilo cognitivo DIC y del nivel de desarrollo formal, interaccionan claramente con el tratamiento efectuado** (entrenamiento de los estudiantes en una metodología investigativa de resolución de problemas) ya que, el análisis realizado, pone de manifiesto que, en la situación inicial no existían proximidades entre las categorías cognitivas y las que se deducen de las variables de contenido, situación que cambia en las evaluaciones finales y de recuerdo donde hemos encontrado una asociación importante.

Dentro de la problemática relativa a las relaciones entre la dimensión DIC y las ideas de los estudiantes en campos específicos del conocimiento, y la necesidad de realizar más investigaciones que permitan obtener conclusiones concordantes (**Capítulo 5**), los resultados obtenidos en nuestra investigación resultan clarificadores. Si nos centramos en el área de **Mecánica**, estos resultados coinciden con los obtenidos en nuestro país por J.I.Pozo (1987) y A. Corral (1982), en lo relativo a la influencia de la variable DIC en los esquemas conceptuales en este campo, y por Acevedo et al. (1989), en lo relativo a la influencia del pensamiento formal (concretamente de la capacidad de utilizar razonamientos proporcionales) sobre la posibilidad de los individuos para experimentar cambios conceptuales significativos.

En el campo de la **Electricidad**, no conocemos trabajos en los que se haya estudiado la influencia de las diferencias individuales de los sujetos sobre el cambio conceptual experimentado como consecuencia de su entrenamiento en una metodología de trabajo determinada. Algo semejante ocurre en la posible influencia de la competencia de los sujetos en tareas concretas como el **cálculo combinatorio (LT2)**, o la **lógica de proposiciones (LT3)** en su capacidad para

experimentar posibles cambios conceptuales dentro de áreas concretas de contenido. En este sentido, los resultados encontrados en esta investigación se presentan como una aportación relevante que abre un camino a futuros estudios.

En cuanto a la **variable sexo**, existen aportaciones sobre la influencia de las diferencias intersexuales en el rendimiento dentro de áreas científicas, siempre a favor de los hombres, (Acevedo,1989; Pozo et al., 1991; Palacios y Varela, 1993) pero en nuestra investigación **no hemos encontrado asociación entre las categorías derivadas del sexo y las provenientes del campo de la Mecánica y la Electricidad**. Teniendo en cuenta que los estudios arriba citados, en cualquier caso, no introducen ninguna explicación sobre el posible origen de estas diferencias, habrá que profundizar en futuras investigaciones sobre si existen o no estas diferencias y en caso afirmativo, cual podría ser su origen.

8.5.2. RESULTADOS CORRESPONDIENTES AL SEGUNDO ANALISIS.

A la luz de todos los resultados obtenidos, y a modo de comprobación, hemos procedido a realizar un segundo análisis considerando como **variables básicas**, tanto las variables de tipo cognitivo como las relacionadas con los esquemas conceptuales en las dos áreas investigadas. Para este estudio hemos depurado la matriz de entrada omitiendo en ella los datos de las variables correspondientes a la evaluación inicial y al sexo ya que, en el primer análisis dedujimos que no introducían ninguna diferenciación en la muestra experimental. En la Figura 8.35 se presenta el resultado de este segundo análisis, sobre los ejes 1 y 2, para todas las variables incluidas en el mismo.

Factor 2

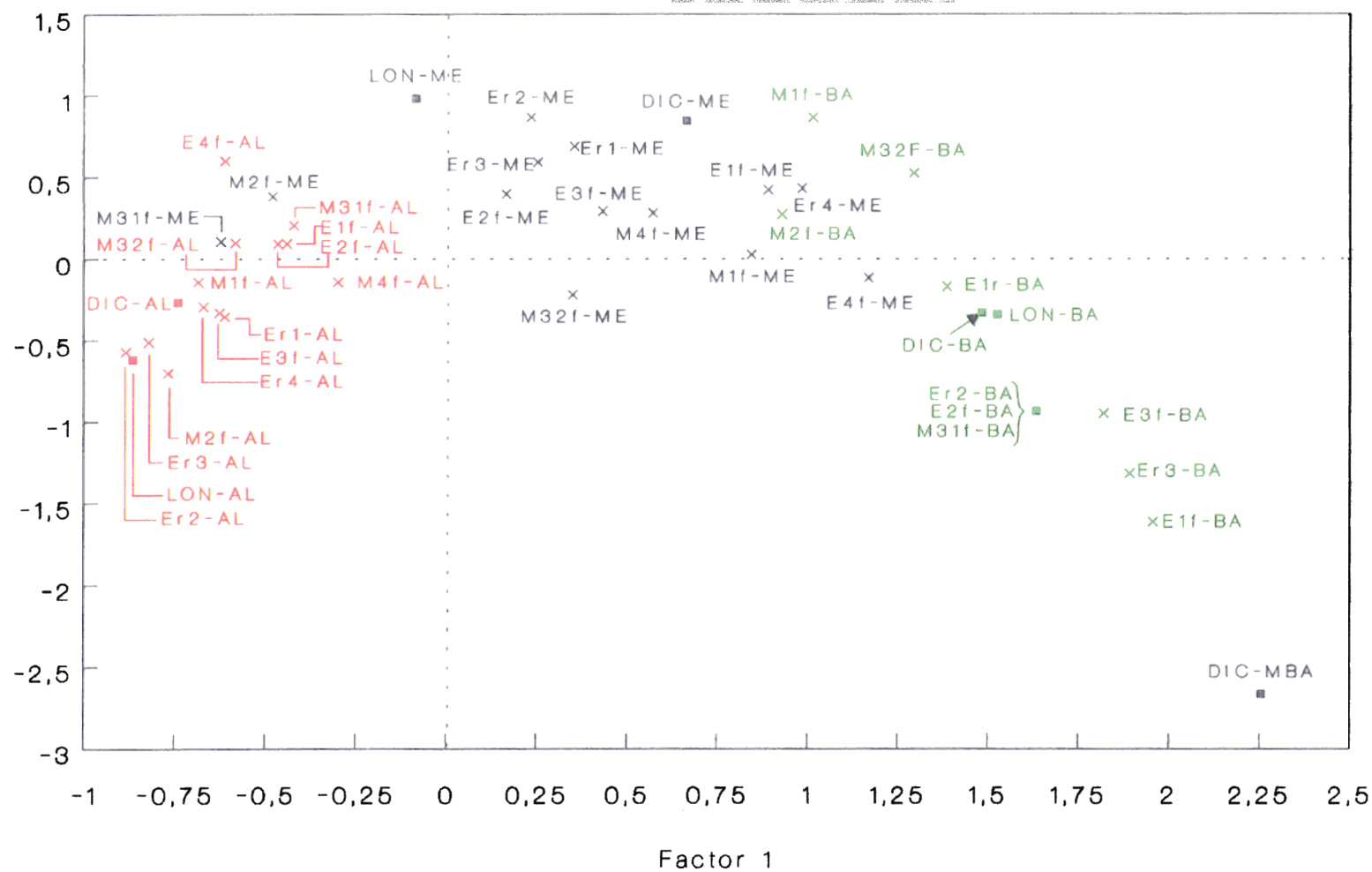


FIGURA 8.35: Representación de las variables Mecánica y Electricidad final y cognitivas sobre el plano definido por los factores 1 y 2.

La observación de la representación obtenida, pone de manifiesto la similitud con las gráficas encontradas en el estudio precedente. Así, aparecen de nuevo dos polos bastante bien definidos. El primero, situado a la izquierda del eje 1, lo constituye la nube de puntos que agrupa todos los valores altos de las variables, tanto las de origen cognitivo como las correspondientes a las áreas de **Mecánica y Electricidad**. El segundo polo, situado en el extremo opuesto del citado eje 1, está formado por la nube que incluye los valores más bajos de las citadas variables. De nuevo el eje 2 no introduce una diferenciación clara, aunque la representación de los valores denominados *medios*, resulta más compacta en este estudio que en el anterior.

En la gráfica de la Figura 8.35 se observa también, que el valor *Muy bajo* de la variable que define el estilo cognitivo DIC -cuya frecuencia de aparición es del orden del 4%- aparece como una *modalidad periférica* o "outliers" deformando, según nuestra opinión, la nube de puntos correspondiente a los valores bajos de las variables medidas. La explicación a este hecho es que, en este tipo de técnica, la distancia de Benzecri, o distancia al centro, pondera de forma inversa a la frecuencia del dato; las categorías que tengan un valor bajo de la misma, como es este caso, tienen una inercia muy grande separándose mucho del centroide de la nube de puntos, es decir se comportan como "outliers". Como medida preventiva se recomienda eliminar estas categorías del análisis, pero nosotros no lo hemos considerado pertinente pues no deseábamos reducir la muestra.

Las representaciones en los ejes 3 y 4, correspondientes a este estudio no aportan ninguna información nueva, relevante para nuestra investigación, por lo que no van a ser presentadas en esta memoria.

El hecho de haber obtenido representaciones semejantes a partir de la utilización de procedimientos distintos, avala la "robustez" de los resultados obtenidos confirmándonos la existencia de una relación global para el conjunto de las variables estudiadas.

8.5.3. CONCLUSIONES ACERCA DE LA CONTRASTACION DE LA HIPOTESIS 3.

Vamos a recoger en este apartado, a modo de conclusión final sobre la **Hipótesis 3**, las aportaciones que, como resultado de la investigación hemos ido sacando a lo largo de las páginas anteriores.

Así, en lo referente a las variables que habíamos introducido para especificar las características de los sujetos que han constituido la muestra experimental, hemos concluido:

- Existe una asociación, derivada de la proximidad, entre los valores extremos de las variables que determinan el estilo cognitivo dependencia-independencia de campo y el nivel de desarrollo formal de los sujetos. La asociación depende de la naturaleza de la tarea a realizar así, aparece más claramente definida para las tareas relativas a la inclusión de clases y al cálculo de probabilidades que para el cálculo combinatorio y la lógica de proposiciones.
- No hay asociación cuando introducimos el sexo como variable categórica.

En cuanto a las relaciones detectadas para las categorías definidas dentro del campo de la Física, podemos concluir lo siguiente:

- Las variables que definen los niveles de contestación en Mecánica y Electricidad, para la evaluación realizada antes de llevar a cabo el entrenamiento en la metodología investigativa de resolución de problemas, no están asociadas con los valores correspondientes a las variables cognitivas estudiadas.

- Una vez finalizado el proceso y al cabo de diez meses de la citada finalización, aparece una asociación relevante cuando relacionamos las variables correspondientes a los contenidos de tipo científico con las variables que determinan el DIC y el nivel de pensamiento formal de los estudiantes.

- De nuevo, la variable ligada al sexo no interacciona con el cambio conceptual experimentado por los individuos.

En síntesis, podemos considerar contrastada la **Hipotesis 3** en lo referente a la interacción de las variables cognitivas estudiadas con el tratamiento efectuado con los alumnos, entrenados en una metodología investigativa de resolución de problemas. Esta interacción se ha producido en el sentido de que **los individuos caracterizados por los valores más altos en las variables cognitivas - dependencia de campo y nivel de desarrollo del pensamiento formal- consiguen al final del proceso, esquemas conceptuales más próximos a los defendidos por la Ciencia actual, en el área de Mecánica y de Electricidad.**

En cuanto a la **variable sexo**, no se han cumplido las expectativas iniciales ya que, como se desprende del análisis que hemos realizado, **esta variable no discrimina a los individuos en cuanto a su capacidad para experimentar cambios conceptuales significativos.**

8.6. INFLUENCIA DE LAS DIFERENCIAS INDIVIDUALES EN LA RESOLUCION DE PROBLEMAS.CONTRASTACION DE LA HIPOTESIS 4

La **Hipótesis 4** que recogía la posible relación existente entre el estilo cognitivo DIC, el nivel de desarrollo del pensamiento formal y el sexo, y la eficacia en la resolución de problemas quedó expresada de la siguiente manera:

HIPOTESIS 4: Las diferencias individuales, determinadas a partir del estilo cognitivo dependencia-independencia de campo, el nivel de desarrollo del pensamiento formal y el sexo, van a incidir en la capacidad de los individuos para resolver problemas. La interacción de estas variables con el tratamiento realizado, dependerá del tipo de tarea a resolver.

Anteriormente describimos un conjunto de investigaciones sobre la interacción de las diferencias individuales en la capacidad de los estudiantes para resolver problemas dentro del campo de las Ciencias (**Capítulo 5**). Estos trabajos no aportaban conclusiones definitivas sobre las posibles relaciones, por lo que hemos planteado la Hipótesis 4 de forma no direccional.

Para proceder a la contrastación de esta hipótesis, vamos a distinguir, por una parte, variables de contenido y por otra variables centradas en la metodología de resolución de problemas. Análogamente diferenciaremos problemas de

enunciado abierto frente a problemas cerrados. El análisis estadístico que vamos a aplicar, **análisis de correspondencias múltiples**, se presenta como un procedimiento adecuado ya que nos va a indicar tanto las posibles relaciones existentes entre las variables como el sentido de las mismas. (Apartado 6.4.3).

A fin de operativizar la contrastación de esta hipótesis, hemos utilizado de nuevo los resultados del **Test GEFT** y del **Test de Longeot** para establecer las escalas relativas a las variables cognitivas. La nomenclatura para realizar los análisis de correspondencias en lo referente a estas variables y al sexo ha sido la misma que la empleada en la hipótesis anterior (ver Apartado 8.5).

En lo que respecta a la eficacia de los estudiantes como resolventes, hemos utilizado para la valoración de los problemas de enunciado abierto la clasificación de variables tal como quedó definida en el Apartado 7.5.2 :

Variables de contenido VC: Han sido establecidas específicamente para cada uno de los problemas. Los criterios de definición empleados son semejantes, en la medida de lo posible, para todos los problemas propuestos en cada uno de los campos explorados.

Variables de tipo metodológico VM: Han sido establecidas de acuerdo con el modelo de resolución de problemas en que los individuos han sido entrenados tal como quedó descrito en el Apartado 7.3.1, definiéndose de forma idéntica para todo el conjunto de problemas evaluados:

VM1. Análisis cualitativo del problema

VM2. Emisión de hipótesis

VM3. Elaboración de estrategias

VM4. Resolución del problema

VM5. Análisis de resultados

A fin de utilizarlas en el análisis estadístico se ha introducido la nomenclatura siguiente:

Variables de contenido. Se nombran de forma específica, según sean problemas de Mecánica: **CMci** o de Electricidad: **CEi**, donde el índice **i** va de **1** a **4** para cada uno de ellos. Dentro de cada variable, se han definido tres categorías según el nivel de contestación presentado. A modo de ejemplo, presentamos las correspondientes a la variable **CMc1**:

VCMc1: Variable de contenido 1 para el Problema de Mecánica

Nivel 1: CMc1-BA (Bajo)

Nivel 2: CMc1-ME (Medio)

Nivel 3: CMc1-AL (Alto)

Variables metodológicas. Para cada una de estas variables hemos definido tres niveles de respuestas, presentando a modo de ejemplo los relativos a **M1**:

M1: Variable metodológica 1

Nivel 1: M1- BA (Bajo)

Nivel 2: M1- ME (Medio)

Nivel 3: M1- AL (Alto)

Para los problemas de enunciado cerrado se ha utilizado como variable clasificadora, la puntuación total obtenida en cada uno de ellos construyendo, a partir de éstas, una escala continua de valores.

A continuación, vamos a analizar los resultados correspondientes a la contrastación de esta hipótesis relativa a los problemas de enunciado abierto. En segundo término presentaremos los datos para los problemas de enunciado cerrado.

8.6.1. RESULTADOS PARA PROBLEMAS DE ENUNCIADO ABIERTO.

Para facilitar la presentación y posterior discusión de los resultados, vamos a comentar, en primer lugar, lo relativo a todas las variables que se han definido en este estudio, dejando para un segundo apartado el análisis específico de las variables metodológicas. Estas variables son de gran relevancia en la investigación que hemos realizado ya que, el entrenamiento de los alumnos tenía como finalidad principal fomentar en ellos hábitos de trabajo relacionados con una metodología de tipo investigativo familiarizándolos, en consecuencia, con los procedimientos científicos que hay detrás de cada una de las citadas variables

- **Estudio global para las variables de contenido y metodológicas.**

De forma análoga a la contrastación de la **Hipótesis 3**, una vez definidas todas las categorías correspondientes a la **resolución de los problemas abiertos**, hemos realizado un análisis de correspondencias múltiples, utilizando en un

primer estudio, las variables cognitivas y el sexo como **variables básicas**, y las relativas a los problemas, contenido y metodológicas, como **variables suplementarias**. En un segundo estudio se introdujeron todas las variables como básicas con la finalidad de comprobar la semejanza de las representaciones obtenidas.

Tomando en consideración que los **factores 1 y 2** que se obtienen en este análisis explican un **48,4 %** de la varianza total (ver Apartado 8.5.1), representaremos sobre estos ejes las variables de tipo metodológico y las variables de contenido correspondientes a **Mecánica** y a **Electricidad**. Las gráficas obtenidas aparecen en las Figuras 8.36, 8.37 y 8.38 donde, para facilitar su lectura, sólo se han dibujado las categorías correspondientes al test global de Longeot y al test GEFT.

La observación de las representaciones nos lleva a afirmar lo siguiente: a lo largo de las tres figuras aparecen dos polos constituidos por las categorías extremas *-alto y bajo-* definidas para todas las variables estudiadas, estando los valores *medios* relativamente próximos al centro de las representaciones por lo que no introducen discriminación entre los individuos.

Por otra parte, si comparamos las tres gráficas vemos que para los valores *bajos* de las variables de contenido, **Mecánica** y **Electricidad**, existe mayor dispersión con relación a las variables cognitivas que en el caso de las variables metodológicas es decir, como media, las variables de contenido están mas alejadas de los valores correspondientes, **LON bajo** y **DIC bajo y muy bajo**. Este efecto, aunque en menor cuantía, se repite para los valores *altos* de las variables, donde aparece una mayor proximidad entre las metodológicas y las cognitivas que entre estas últimas y las variables de contenido.

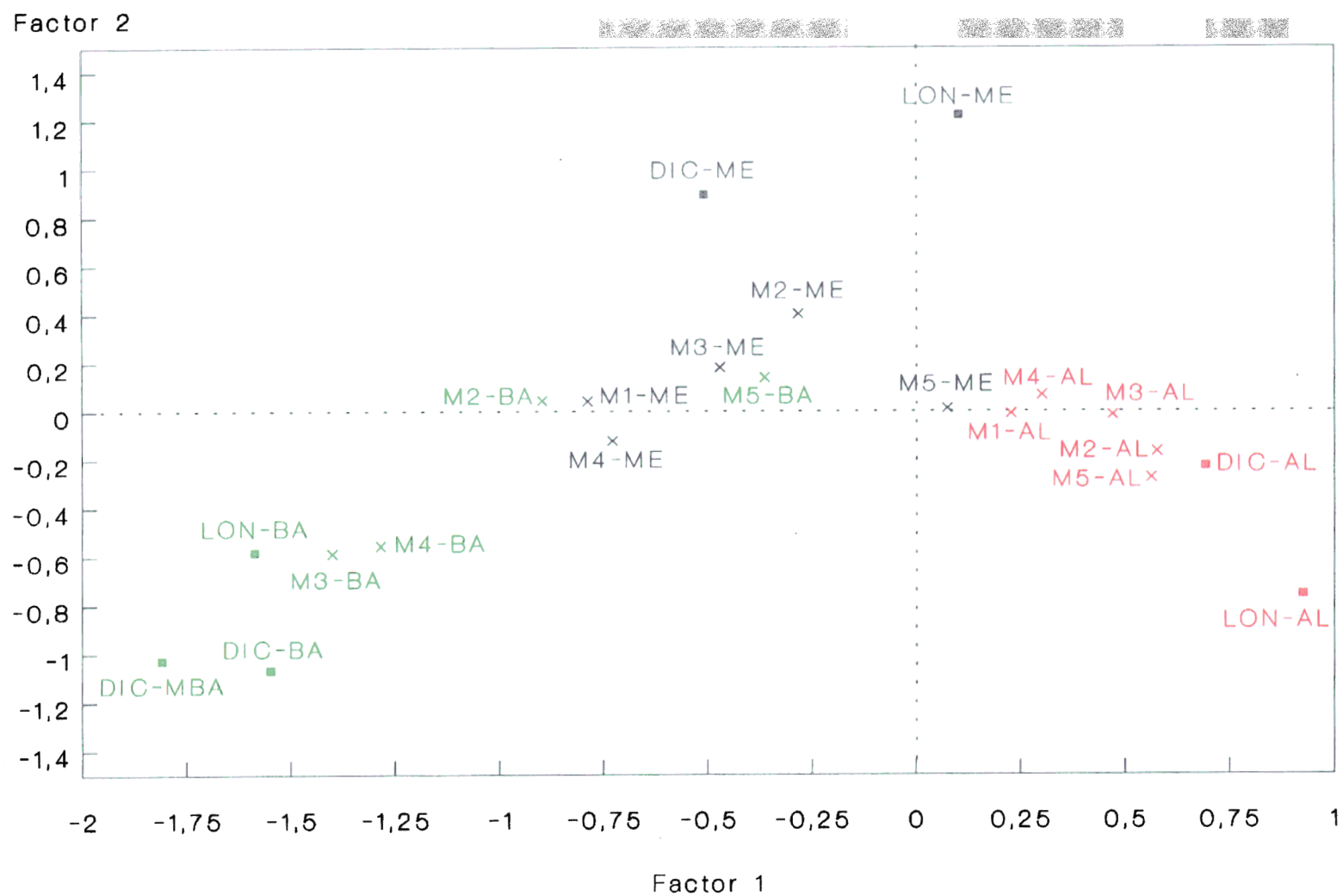


FIGURA 8.36: Representación de las variables metodológicas y cognitivas sobre el plano definido por los factores 1 y 2.

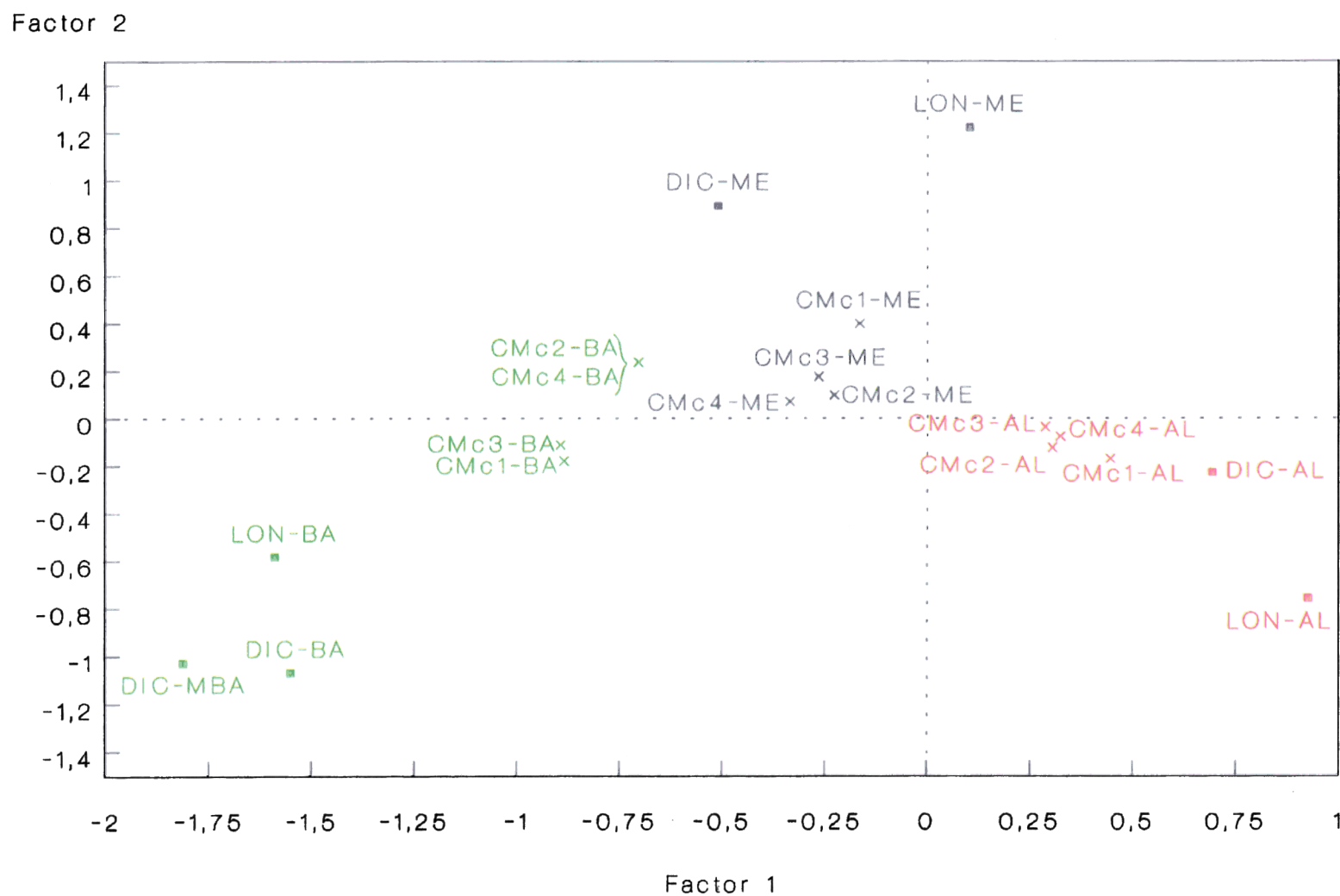


FIGURA 8.37: Representación de las variables contenido Mecánica y cognitivas sobre el plano definido por los factores 1 y 2.

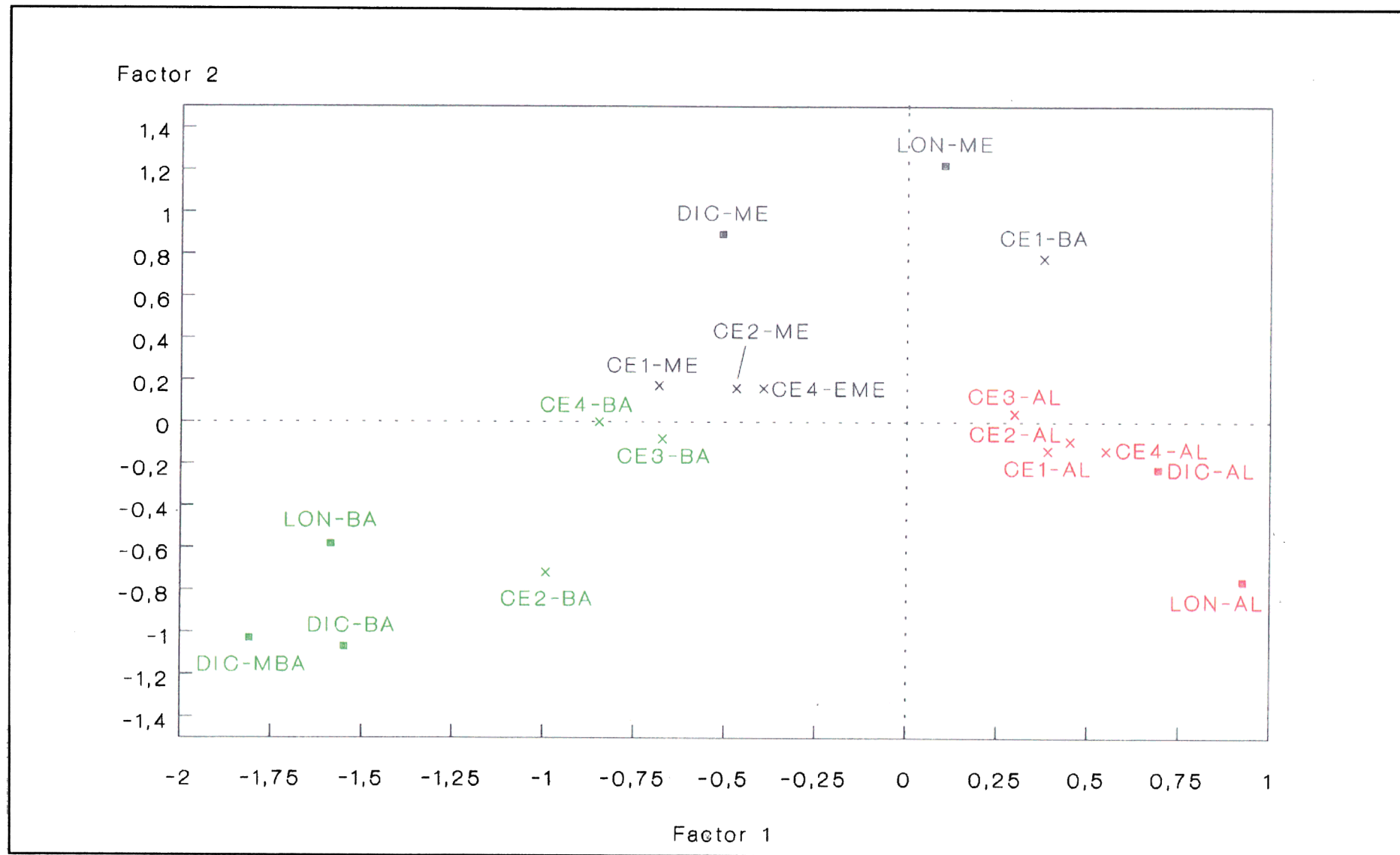


FIGURA 8.38: Representación de las variables contenido Electricidad y cognitivas sobre el plano definido por los factores 1 y 2.

Para completar el estudio, se han obtenido las representaciones en los ejes 1 y 3 donde quedaban mejor definidas las categorías correspondientes a los tests parciales **LT2: cálculo combinatorio** y **LT3: lógica de proposiciones**, y en los ejes 1 y 4 donde quedaba definida la **variable sexo**. Para facilitar la lectura, no presentamos las correspondientes figuras ya que, la única conclusión relevante que hemos obtenido de su análisis ha sido que la variable sexo no introduce diferenciación entre los sujetos para ninguna de las variables analizadas.

Tal como hemos comentado al principio de este apartado, se ha realizado un segundo análisis de correspondencias introduciendo todas las variables que interactúan como **variables básicas** descartando únicamente el sexo de acuerdo con los resultados del estudio anterior. La representación obtenida aparece en la Figura 8.39 donde, para simplificar la lectura, sólo se han dibujado los valores globales de las test **GEFT** y **Longeot** y se presentan de forma separada las categorías con coordenada positiva sobre el eje 1 de las que tienen coordenada negativa. La observación de la figura pone de manifiesto la similitud con los resultados del primer análisis realizado. De nuevo aparecen dos polos claramente definidos sobre el eje 1: el primero, muy compacto, en el extremo izquierdo del eje, recoge los valores *altos* de todas las variables introducidas. El segundo, en el extremo derecho del citado eje, integra los correspondientes valores *bajos* de las variables evaluadas. Hay que indicar que, al igual que ocurría en el primer análisis realizado, el segundo polo está peor definido que el primero, apareciendo modalidades periféricas, "*outliers*", muy claras (**DIC muy bajo**, **M3 bajo** y **M4 bajo**) que deforman la nube de puntos obtenida. También en consonancia con los datos ya encontrados, el **factor 2** no introduce diferencias relevantes.

Factor 2

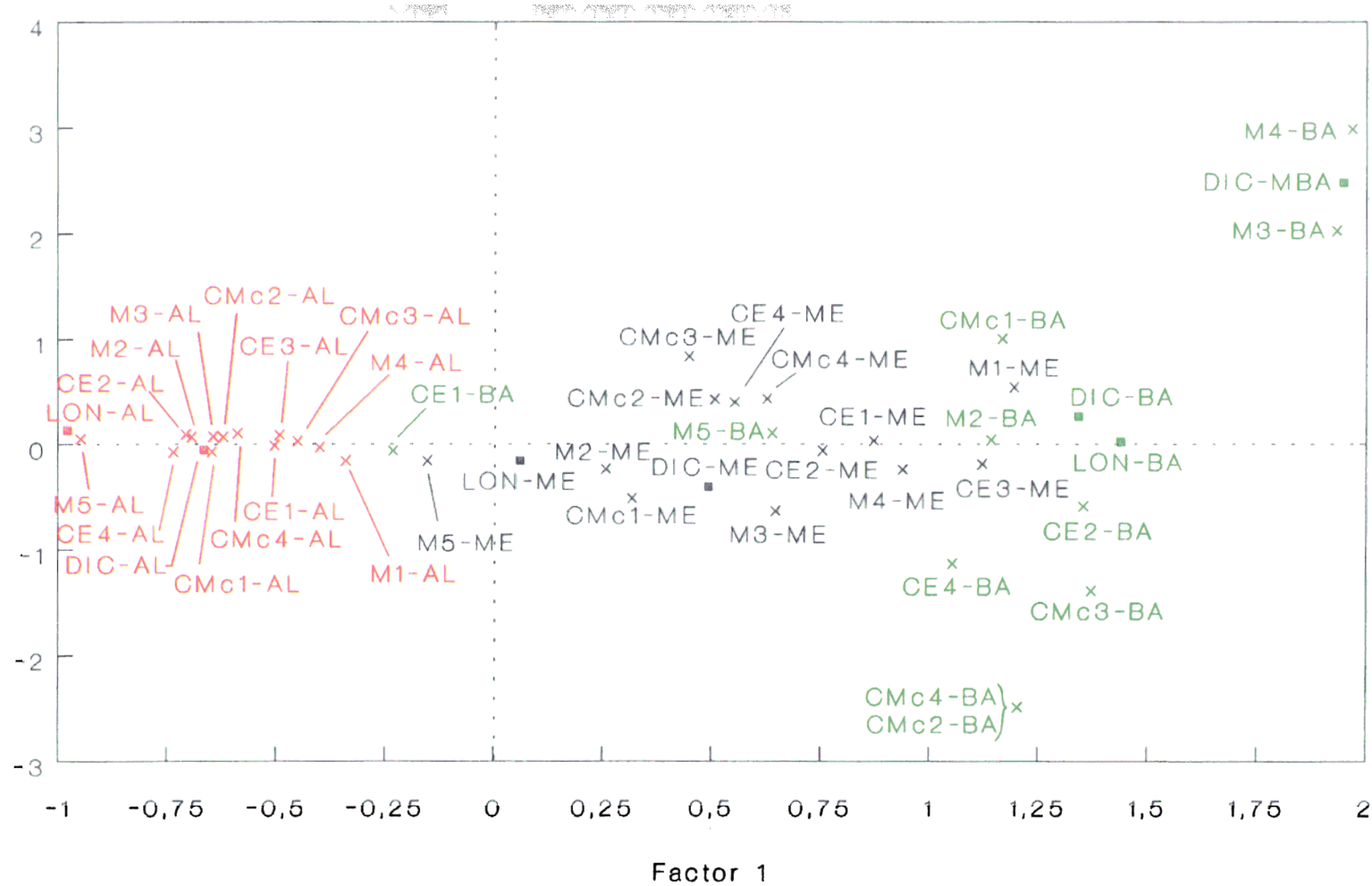


FIGURA 8.39: Representación de las variables metodológicas, contenido Mecánica y Electricidad y cognitivas sobre el plano definido por los factores 1 y 2.

El hecho de haber encontrado representaciones semejantes a partir de los dos procedimientos de análisis realizados, nos confirma que **existe, globalmente, una asociación, consecuencia de la proximidad, entre todas las variables estudiadas**. Esta asociación vendría caracterizada por los siguientes aspectos:

- Los valores extremos, *alto* y *bajo*, de las variables cognitivas se pueden asociar, en general, con los mismos valores de las variables de contenido y las metodológicas. Se confirma, al igual que en los resultados de la Hipótesis 3 (relativa a la relación entre las variables cognitivas y las variables definidas para los esquemas conceptuales), la existencia de dos polos claramente definidos alrededor de estas categorías.
- La categoría que hemos denominado *media* no introduce una diferenciación clara entre los individuos.
- Las variables metodológicas, relacionadas con el proceso de resolución de problemas, están ligeramente más próximas a las variables cognitivas que las correspondientes a los contenidos.
- La variable sexo no introduce diferenciación entre los sujetos para ninguna de las variables analizadas, de contenido o metodológicas.

Para valorar los resultados obtenidos, vamos a tomar como referencia las ideas que, desde un punto de vista teórico, aparecían en los planteamientos de las investigaciones al respecto que describimos en el **Capítulo 5**, destacando en primer lugar dos ideas allí vertidas, en nuestra opinión, muy relevantes. La primera de ellas, en la línea de Pascual-Leone (1978), hacía referencia a la

posible relación de la resolución de problemas de enunciado abierto con el estilo cognitivo DIC, en el sentido de asegurar que los sujetos independientes serán mejores resolventes que los dependientes debido a su mayor capacidad, por un lado, para procesar la información y por otro para seleccionar la estrategia más adecuada entre las disponibles. La otra aportación, realizada por Flavell (1976), y enmarcada claramente en las teorías de J. Piaget, considera el pensamiento formal como una capacidad general de los individuos para resolver problemas.

En la misma línea que estamos apuntando, añadir que en la resolución de problemas, máximo si estos presentan una situación abierta, hay una etapa holística en la cual los estudiantes deben aislar de un contexto dado toda la información relevante, manejando simultáneamente los diferentes elementos del problema, a fin de desembocar en una reestructuración que conduzca a la solución del mismo. Dadas las características de todo el proceso, los individuos independientes de campo van a conseguir resultados más positivos que los dependientes.

Unificando las ideas presentadas en los párrafos anteriores, con los resultados obtenidos en esta investigación, podemos afirmar que, **los individuos independientes de campo y con mayor nivel de desarrollo de pensamiento formal, presentan mayor capacidad para resolver problemas de enunciado abierto en el contexto escolar de las clases de Ciencias.** Esta afirmación coincide con las aportaciones que, con muestras de estudiantes españoles de edades similares, han realizado otros profesores (Palacios et al., 1989, 1992 y López-Rupérez, 1991), obteniendo correlaciones positivas entre el estilo cognitivo DIC y desarrollo formal y la eficacia para resolver problemas.

Para terminar esta discusión, comentaremos que nuestros resultados en lo que hace referencia a la variable sexo, que de nuevo no discrimina a los sujetos en relación con las tareas realizadas para resolver problemas abiertos, no tiene un apoyo explícito en la bibliografía consultada donde usualmente no se introduce esta variable y en caso de hacerlo resulta favorable a los hombres frente a las mujeres, (Ronning et al. 1984).

- **Estudio específico para las variables metodológicas.**

Una vez realizadas las valoraciones globales, vamos a analizar con más detalle los resultados correspondientes a cada una de las variables metodológicas dada la relevancia que, este tipo de variables ha tenido en nuestra investigación. En este sentido, estábamos muy interesados en estudiar la influencia que, en la adquisición de estas destrezas científicas, introducen las variables cognitivas como expresión de diferencias individuales.

Con la finalidad de llevar a cabo este estudio, hemos realizado representaciones parciales para cada una de las **variables metodológicas** junto con las **variables básicas** utilizadas en el análisis de correspondencias realizado, excluyendo la variable sexo debido a su falta de capacidad diferenciadora. Los resultados obtenidos aparecen en las Figuras 8.40 a 8.44 donde, para simplificar la lectura hemos dibujado únicamente las categorías correspondientes a las pruebas globales.

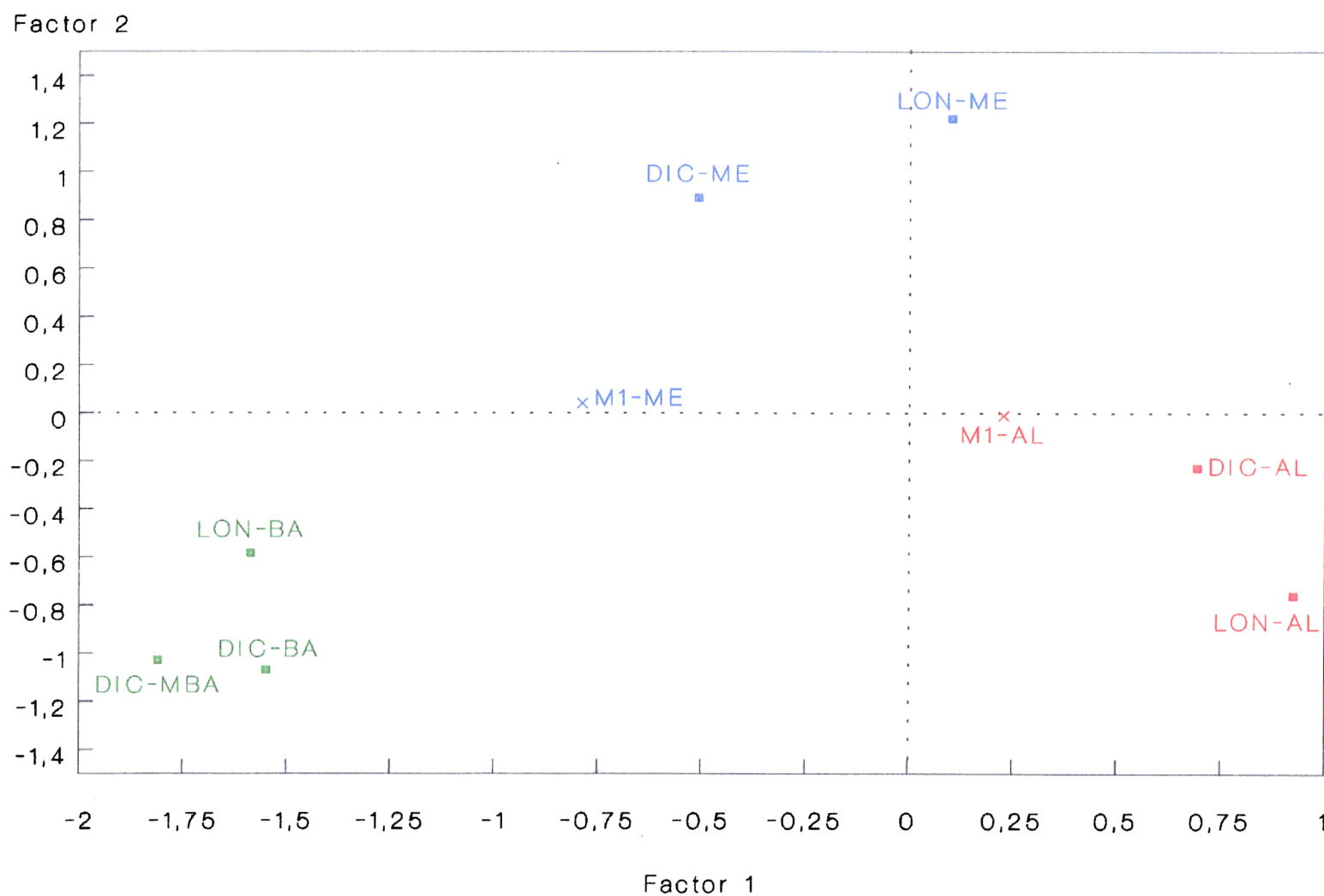


FIGURA 8.40: Representación de las variables análisis cualitativo y cognitivas sobre el plano definido por los factores 1 y 2.

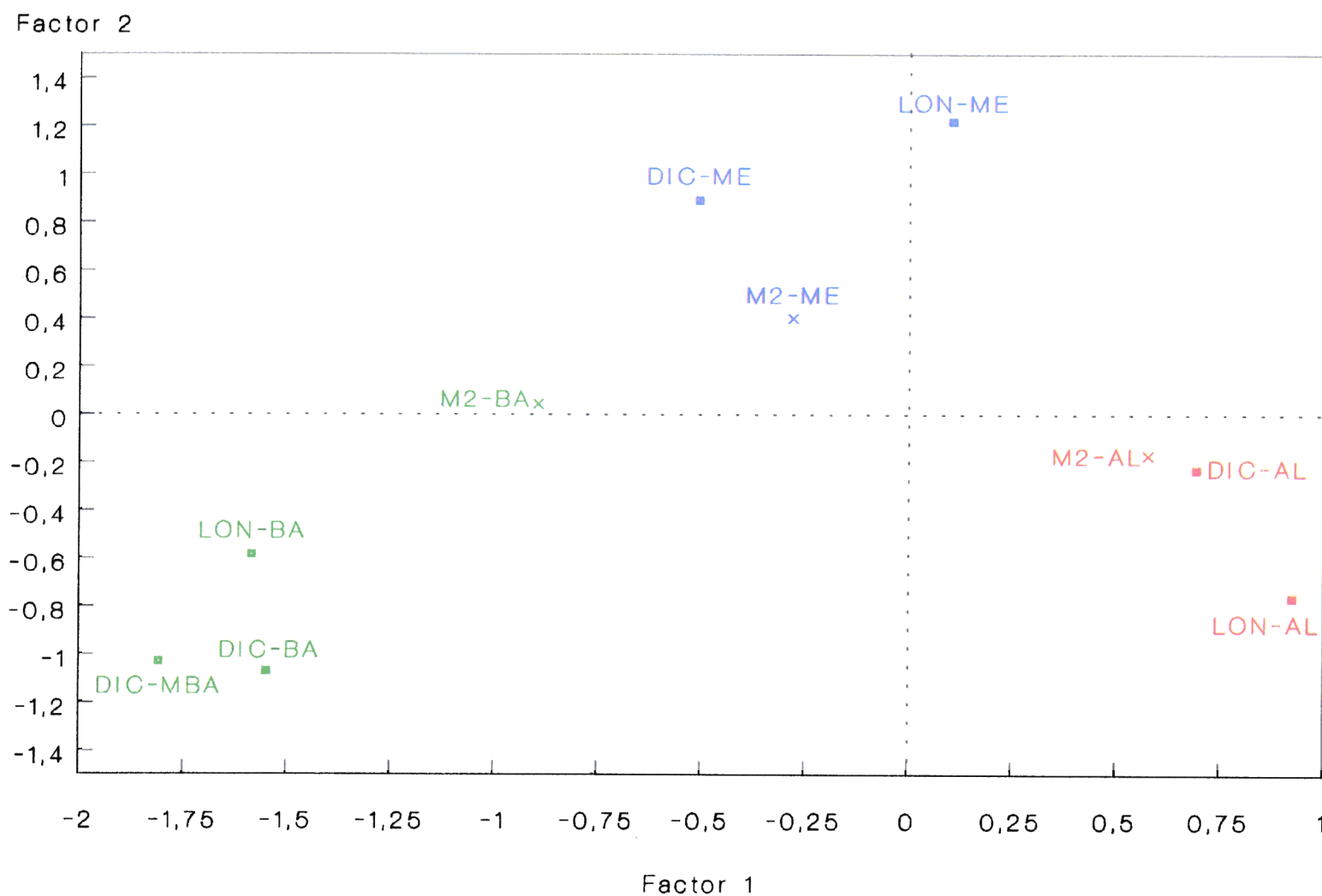


FIGURA 8.41: Representación de las variables emisión de hipótesis y cognitivas sobre el plano definido por los factores 1 y 2.

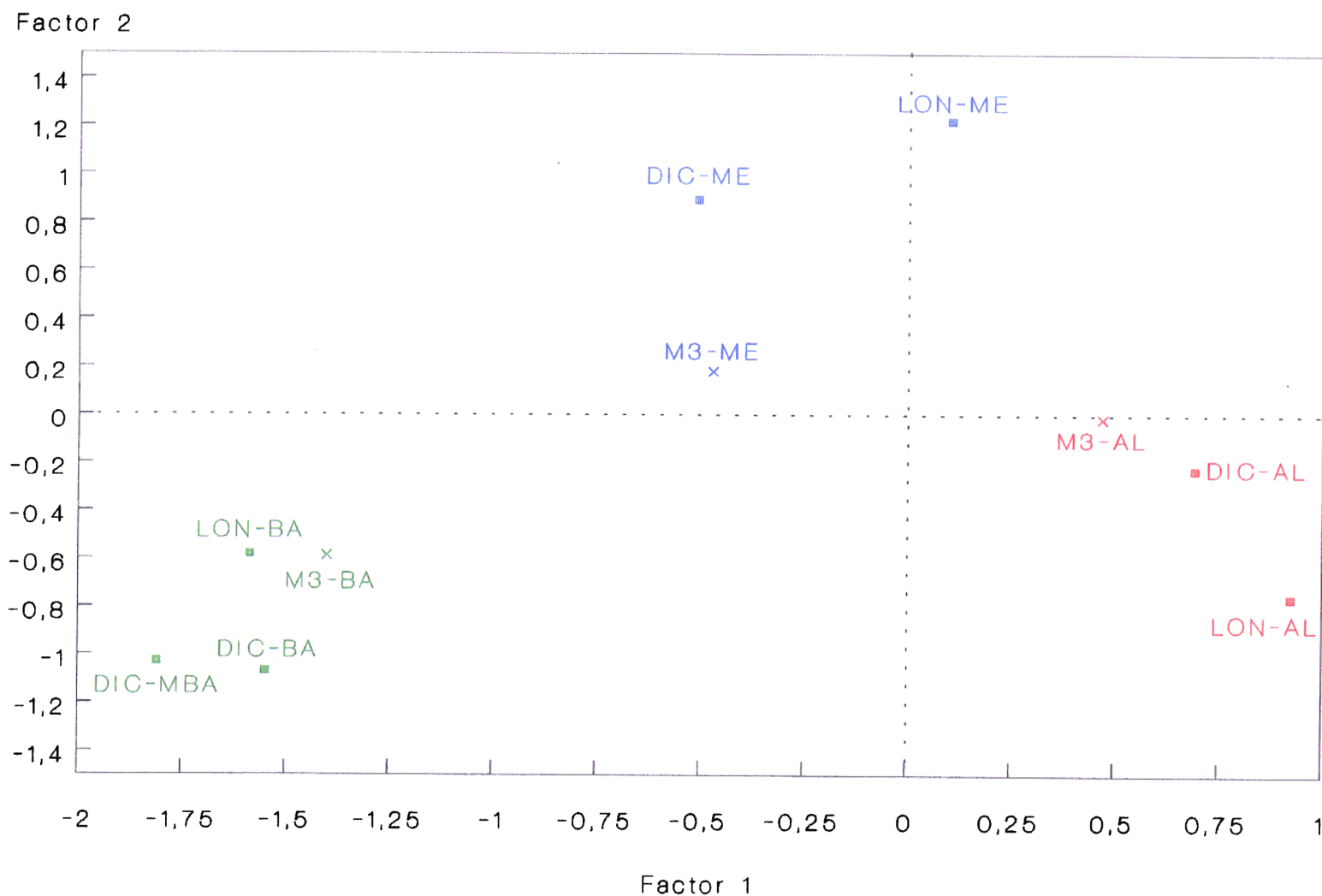


FIGURA 8.42: Representación de las variables elaboración de estrategias y cognitivas sobre el plano definido por los factores 1 y 2.

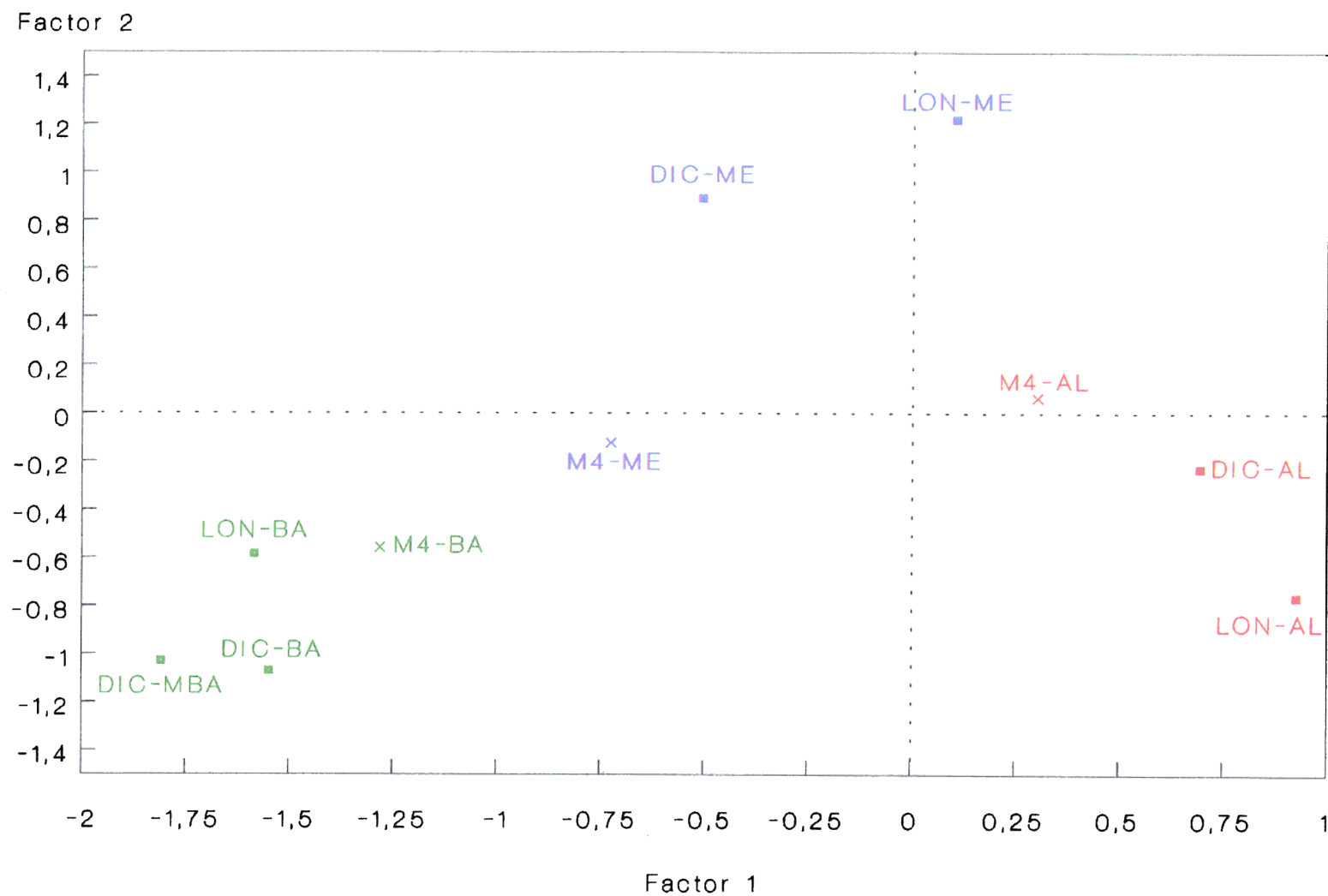


FIGURA 8.43: Representación de las variables resolución del problema y cognitivas sobre el plano definido por los factores 1 y 2.

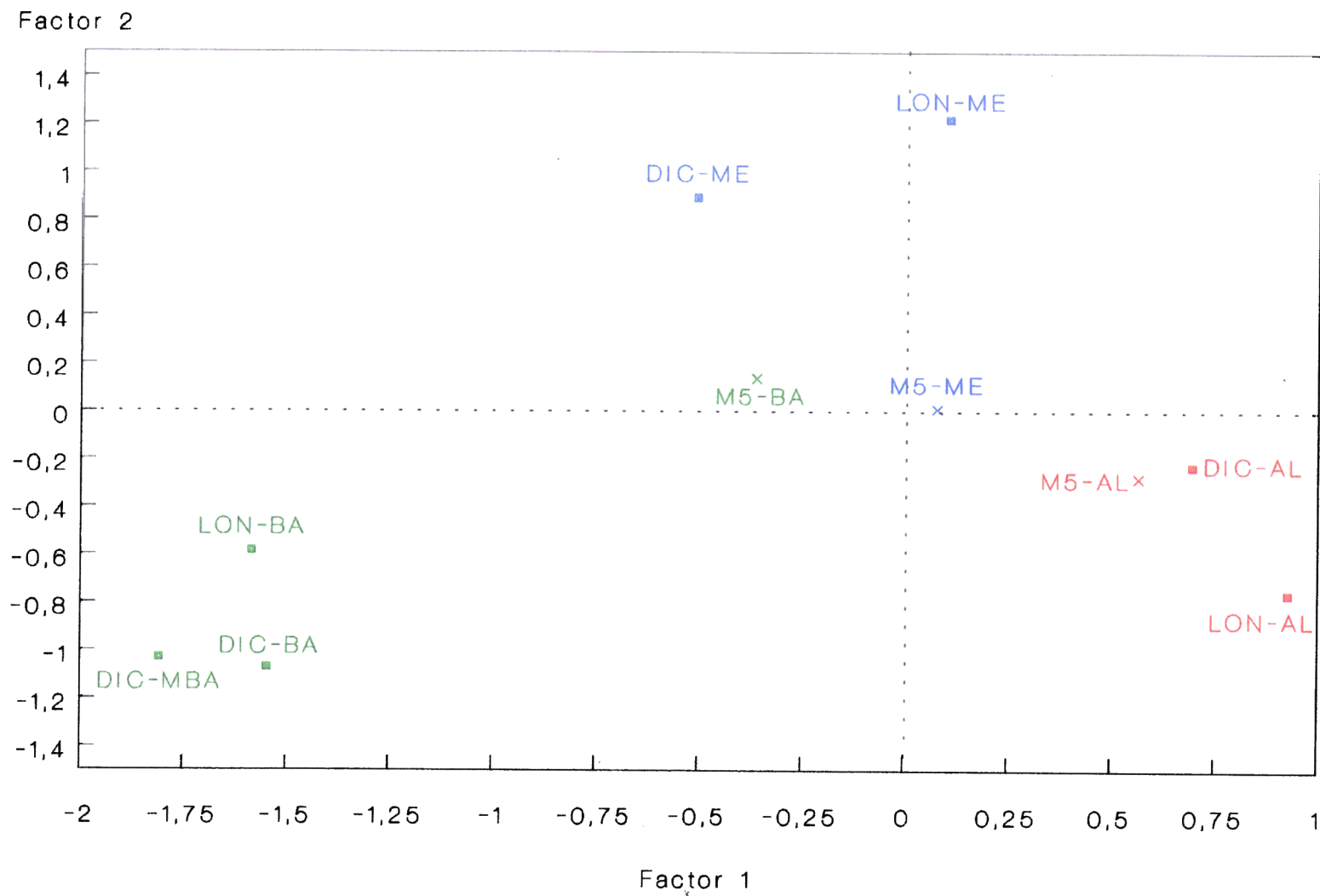


FIGURA 8.44: Representación de las variables análisis de resultados y cognitivas sobre el plano definido por los factores 1 y 2.

La valoración comparativa de estas cinco representaciones en que, para ayudarnos, se dibujaron los segmentos correspondientes a las distancias entre los valores de cada una de las categorías definidas para las variables metodológicas y las correspondientes a las variables cognitivas, nos lleva a afirmar que las tareas cuya resolución **interactúa más con el estilo cognitivo DIC y el nivel de desarrollo del pensamiento formal** son en este orden: **Elaboración de estrategias y Emisión de hipótesis**, encontrándose en el extremo opuesto el **Análisis de resultados**.

Los resultados que acabamos de presentar, coinciden con los aportados en el Apartado 7.5 en lo relativo a la capacidad de los estudiantes cuando emiten hipótesis. En las entrevistas realizadas, aproximadamente en la mitad del proceso de entrenamiento, los sujetos dependientes de campo reconocían no realizar, mayoritariamente **emisión de hipótesis**. Los independientes de campo aparecían en el extremo opuesto con porcentajes muy altos de utilización de la citada tarea.

Además, en el estudio de la evolución temporal experimentada por los alumnos, encontramos que la emisión de hipótesis era la fase que a lo largo de todo el proceso de entrenamiento experimentaba, en términos relativos una evolución menor, es decir se manifestaba como la etapa de mayor índice de dificultad.

Nuestros resultados pueden discutirse también a la luz de las aportaciones teóricas sobre la existencia y características de las diferencias individuales introducidas en nuestro estudio. Así, detrás de la mayor asociación encontrada entre la capacidad de los sujetos para **la elaboración de estrategias** y sus **características cognitivas**, podemos pensar que este hecho es fundamentalmente debido a que los sujetos más independientes de campo, incluidos en la categoría

DIC alto, son mejores procesadores de la información, en el sentido de su mayor capacidad para seleccionar y utilizar diferentes estrategias siempre que las situaciones a resolver requieran un tratamiento analítico, tal como ocurre en la resolución de problemas de enunciado abierto como los utilizados en esta investigación.

Para valorar la asociación relevante que se ha encontrado entre la capacidad de los estudiantes de **emitir hipótesis**, y sus **variables de tipo cognitivo**, podemos recurrir a los resultados encontrados por numerosos autores en el sentido de que la capacidad de emitir hipótesis está ligada íntimamente a la capacidad de los individuos para **controlar variables**, considerada fundamental en el llamado pensamiento formal. Además, los **independientes de campo** se consideran más capacitados a la hora de emitir hipótesis pues, en esta tarea, se ha constatado que los sujetos tienen que procesar la información de forma muy estructurada, distinguiendo entre los aspectos relevantes y no relevantes, mediante la experimentación sistemática de sus efectos. Algunos de estos resultados han sido presentados en el **Capítulo 5** cuando comentamos las investigaciones de autores como Corral (1982), Palacios et al. (1989) o la recopilación realizada al respecto por Carretero en 1982. Así, podríamos destacar la opinión de Flavell, cuando indica que el pensamiento formal está caracterizado fundamentalmente por su carácter hipotético-deductivo, entendiendo que los *sujetos formales*, no sólo son capaces de formular hipótesis, sino también las pueden contrastar mediante mecanismos de control de variables.

Como conclusión de todos los resultados aportados, podemos afirmar que existe una asociación entre la capacidad de los sujetos para **emitir hipótesis y elaborar estrategias de resolución de problemas**, y sus variables cognitivas en el sentido de que, **los independientes de campo y los de mayor nivel de**

desarrollo de pensamiento formal presentan un nivel de eficacia superior a la hora de desarrollar este tipo de habilidades científicas.

Este resultado, apoyaría toda una corriente de investigación, novedosa en nuestro país, que intenta relacionar variables de corte psicológico con la eficacia de los estudiantes para resolver tareas de contenido científico, dentro del contexto escolar.

8.6.2. RESULTADOS PARA PROBLEMAS DE ENUNCIADO CERRADO.

En este apartado, se presentan los resultados obtenidos al explorar la interacción de las diferencias individuales sobre la eficacia de los estudiantes a la hora de resolver **problemas de enunciado cerrado**. Según el planteamiento realizado en nuestra **Hipótesis 4**, la interacción va a ser diferente según la naturaleza de la tarea a realizar.

Para llevar a cabo el correspondiente estudio, se han empleado dos problemas de enunciado cerrado resueltos por los estudiantes del grupo experimental al finalizar el proceso de entrenamiento. Los modelos de los problemas utilizados, uno de **Mecánica** y otro de **Electricidad**, se incluyen en el **Anexo 2** de esta memoria.

La calificación de estas tareas se realizó utilizando una **escala continua** de 0 a 10 por lo que, a la hora de explorar las posibles relaciones con las variables que hemos introducido para caracterizar a los individuos, nos ha permitido calcular los correspondientes **coeficientes de correlación r de Pearson**, para el

estilo cognitivo dependencia de campo y nivel de desarrollo formal, y el **coeficiente de correlación de rangos de Kendall** en cuanto al sexo se refiere, debido a su carácter de variable dicotómica. Los resultados obtenidos se presentan en la TABLA 8.21.

	DIC ₍₁₎	Pensamiento formal ₍₁₎	Sexo ₍₂₎
Prob. Mecánica	0,239	0,417**	0,117
Prob. Electricidad	0,166	0,442**	0,206

(1) Coeficiente de Peerson (2) Coeficiente de Kendall **P < 0,01

TABLA 8.21. Coeficientes de correlación entre las variables individuales y los problemas de enunciado cerrado.

La observación de los resultados que aparecen en la tabla nos permite afirmar lo siguiente:

- Cuando se resuelven problemas de enunciado cerrado y numérico, la variable que determina el estilo dependencia-independencia de campo no correlaciona significativamente con la eficacia en la resolución de los mismos.

- Por el contrario, el **nivel de desarrollo de pensamiento formal** de los individuos si presenta una correlación positiva con los citados problemas, tanto en lo que se refiere al campo de la **Mecánica** como de la **Electricidad** (P < 0,01).

- La **variable sexo** no correlaciona significativamente con la eficacia a la hora de resolver problemas de enunciado cerrado.

El hecho de la desaparición de la interacción de la variable **DIC**, cuando el formato de la tarea se presenta cerrado, podemos explicarlo si consideramos que, en los problemas de enunciado abierto, los individuos tenían que reorganizar y estructurar la información seleccionando la estrategia más efectiva para la resolución del problema. Este tipo de tareas, relacionadas íntimamente con el **estilo cognitivo DIC**, podrían perder relevancia cuando el estudiante se enfrenta con un problema del que conoce el algoritmo de resolución.

Nuestros resultados, por otra parte, coinciden con aportaciones como la de García Ramos (1989) que, en referencia al material de trabajo, comenta que la mayor eficacia de los independientes desaparece cuando el material está altamente organizado. Conclusiones similares son los aportados por López-Rupérez (1991), donde comenta que la variable **DIC** correlaciona en menor grado con los problemas donde, los efectos de esta variable, pueden estar en parte controlados si el alumno recuerda el algoritmo de solución.

Para terminar recordaremos que, cuando los alumnos resolvían **problemas de enunciado abierto**, las dos variables de tipo cognitivo que hemos introducido en nuestra investigación interaccionaban con la eficacia desarrollada por los estudiantes. Los resultados que ahora presentamos muestran que al resolver **problemas de enunciado cerrado** la influencia de la variable **DIC** ha desaparecido. Podemos concluir, como habíamos avanzado en el planteamiento de la hipótesis, que **la influencia de las diferencias individuales, va a depender de la naturaleza de la tarea a realizar.**

8.6.3. CONCLUSIONES ACERCA DE LA CONTRASTACION DE LA HIPOTESIS 4

Vamos a recoger en este apartado, a modo de conclusión final sobre la **Hipótesis 4**, las aportaciones que, como resultado de la investigación, hemos ido sacando a lo largo de los apartados anteriores.

Así, en **problemas de enunciado abierto** y en lo referente al conjunto de variables considerado en general, hemos concluido que:

- Existe una asociación, detectada en las representaciones obtenidas a partir de los análisis de correspondencias realizados, entre los valores extremos de las variables cognitivas dependencia/independencia de campo y nivel de desarrollo del pensamiento formal- y los correspondientes valores de las variables definidas para la resolución de problemas de enunciado abierto. Todo ello determinado en el contexto de las clases de Física.
- La asociación anterior es más relevante para las variables metodológicas, ligadas a las etapas de resolución de problemas, que para las variables de contenido.
- La variable sexo no introduce diferencias en cuanto a la capacidad de los sujetos para resolver problemas de enunciado abierto.

Cuando se realiza un estudio pormenorizado de las relaciones encontradas entre las variables de tipo cognitivo y las metodológicas se ha llegado a la siguiente conclusión:

- Existe una asociación mayor entre la capacidad de los sujetos para emitir hipótesis y elaborar estrategias de resolución de problemas y sus variables cognitivas. La asociación se produce en el siguiente sentido: los estudiantes independientes de campo y con mayor nivel de desarrollo de pensamiento formal presentan un grado de eficacia superior a la hora de desarrollar este tipo de destrezas.

En lo relativo a **problemas de enunciado cerrado**, los resultados obtenidos ponen de manifiesto que:

- Las diferencias individuales, determinadas por el estilo cognitivo DIC, no correlacionan con el grado de eficacia de los estudiantes cuando resuelven problemas cuyo enunciado es de tipo cerrado.

- El nivel de desarrollo del pensamiento formal de los individuos si presenta una correlación positiva con los citados problemas, tanto en lo que se refiere al campo de la Mecánica como de la Electricidad ($P < 1\%$).

- La variable sexo, al igual que ocurría en el caso de problemas abiertos, no correlaciona significativamente con la eficacia a la hora de resolver problemas de enunciado cerrado.

Como conclusión global, se puede considerar **contrastada la Hipotesis 4** en lo referente a la interacción de las variables cognitivas estudiadas sobre el entrenamiento de los estudiantes en una metodología investigativa de resolución de problemas. Esta interacción se ha producido en el sentido de que **los individuos caracterizados por los valores más altos en las variables cognitivas -dependencia de campo y nivel de desarrollo del pensamiento**

formal- consiguen al final del proceso mejores resultados para resolver problemas de enunciado abierto.

La interacción observada ha sido más relevante en la capacidad de los individuos para realizar tareas de contenido metodológico que conceptuales. Dentro del primer grupo, la relación mayor se ha observado entre las variables cognitivas y las que determinan la capacidad para emitir hipótesis y elaborar estrategias de resolución de problemas.

En cuanto a **los problemas de enunciado cerrado** no se han encontrado correlaciones significativas con el estilo cognitivo dependencia-independencia de campo pero se **mantiene la influencia del nivel de desarrollo formal en la eficacia mostrada por los individuos a la hora de resolver este tipo de problemas.**

Independientemente de la naturaleza de la tarea a resolver, **la variable definida a partir del sexo de los individuos, no ha introducido diferencias significativas.**

Para terminar este capítulo, vamos a traer aquí una reflexión sobre la importancia que puedan tener los resultados obtenidos en la contrastación de las **Hipótesis 3 y 4** que han revelado, inequívocamente, la interacción de las características cognitivas de los individuos tanto para experimentar cambios conceptuales significativos como para aumentar su capacidad de resolver problemas. Estas conclusiones van a apoyar toda una corriente de investigación encaminada a relacionar variables de corte psicológico con la eficacia de los estudiantes para resolver tareas de contenido científico, todo ello en contextos educativos normalizados. Volveremos sobre este punto en el capítulo de conclusiones.

PARTE IV

CONCLUSIONES

CAPITULO 9

CONCLUSIONES E IMPLICACIONES DIDACTICAS

9.1. PRESENTACION

La investigación realizada ha tenido como finalidad estudiar el proceso de entrenamiento de un grupo de estudiantes en una **metodología investigativa de resolución de problemas de enunciado abierto**, centrada en el campo de la Física. Hemos estudiado hasta que punto, este proceso ha producido en los estudiantes un cambio conceptual, persistente en el tiempo, acompañado de una actitud positiva hacia el aprendizaje de la Ciencia. Se ha investigado también, acerca de **la interacción de las diferencias individuales**, desde una perspectiva cognitiva, en la respuesta de los sujetos al entrenamiento realizado.

Este trabajo ha pretendido contribuir al desarrollo de una línea de investigación orientada hacia la elaboración de **un cuerpo coherente de conocimientos**, enmarcados en la Didáctica de las Ciencias, una de cuyas prioridades es conseguir en nuestros estudiantes un **aprendizaje significativo** basado en un cambio conceptual, metodológico y actitudinal.

Por otra parte, la investigación realizada ha estado presidida por un deseo **integrador** de perspectivas procedentes de la **Psicología de la Educación** con aportaciones desde el campo de la **Didáctica de las Ciencias**, utilizando de **punto de partida la resolución de problemas**, donde ambas materias han hecho esfuerzos importantes para profundizar en un problema tan complejo como es el proceso de enseñanza/aprendizaje en contextos escolares.

Vamos a presentar las conclusiones divididas en tres apartados. El primero, hace referencia a los resultados obtenidos en la investigación, recogidos a lo largo de los dos últimos capítulos de esta memoria, y de los que ahora realizaremos una síntesis globalizadora. El segundo va a estar dirigido a establecer conexiones entre la teoría y la práctica educativa, resaltando las implicaciones didácticas que pueden tener los resultados de nuestro trabajo. Por último, hemos querido esbozar algunos problemas que han quedado abiertos a futuras investigaciones.

9.2. SINTESIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

Con el fin de presentar unas conclusiones globales de los resultados vamos a utilizar como organizadores de la información dos aspectos diferenciados: uno referente a la resolución de problemas, desde el punto de vista de la Didáctica de las Ciencias, y otro centrado en aspectos procedentes del campo de la Psicología.

I) La resolución de problemas de enunciado abierto en el área de la Física.

Para determinar la eficacia del trabajo realizado por los estudiantes del grupo experimental, hemos evaluado los problemas resueltos por ellos, primero en **Mecánica** y luego en **Electricidad**. A este fin se han definido, para cada uno de los problemas, un conjunto de variables y de su análisis se ha concluido lo siguiente:

1) Los estudiantes, a medida que se ha ido avanzando en el proceso, **han obtenido mejores resultados**, tanto en lo relativo a las variables de contenido (incremento del 44 %) como a las variables metodológicas (incremento del 50 %). Se ha comprobado la capacidad de los alumnos para transferir las estrategias de resolución de problemas, de un área a otra.

2) Dentro de cada una de las áreas estudiadas, y en lo que se refiere a las **variables denominadas de contenido** -esquemas de razonamiento con entidad

propia- la evolución **ha sido muy homogénea** no detectándose, en consecuencia, influencia de los requisitos específicos de cada uno de los problemas.

3) En cuanto a las **variables** que hemos llamado **metodológicas**, relacionadas directamente con las etapas del modelo de resolución en que los estudiantes han sido entrenados, se aprecian evoluciones diferenciadas. En las dos áreas investigadas las fases que **han experimentado un mayor avance** son: el **análisis**, la **elaboración de estrategias** y la **resolución del problema**.

4) El **nivel de verbalización** empleado por los estudiantes en el proceso de resolución, considerado fundamental en la metodología empleada, ha experimentado un avance importante, del 77%, a lo largo del proceso. Otro parámetro contabilizado, el **número de estudiantes que abandona la tarea** apenas comenzada, ha sufrido una disminución muy sensible.

5) La metodología de resolución de problemas utilizada con nuestros estudiantes, **ha producido en ellos una actitud favorable hacia la tarea de resolver problemas**.

Del planteamiento previsto en la **Hipótesis 1** relativo al **cambio conceptual** producido en estudiantes del grupo experimental hemos concluido lo siguiente:

6) El entrenamiento realizado por los individuos del grupo experimental **ha producido en su nivel de conocimiento de Mecánica y de Electricidad, un cambio conceptual altamente significativo para todos los esquemas investigados**. El cambio conceptual ha persistido en el tiempo, aunque con una vuelta a la utilización de esquemas alternativos estadísticamente no significativa.

Los esquemas que han sufrido una evolución cuantitativamente más importante han sido los relativos a la **no influencia de la masa en la caída de los cuerpos** y a la **conservación de la corriente y de la energía en circuitos eléctricos**. Por el contrario, los que menos han evolucionado son los relativos al **Principio de acción y reacción** y el que incluye la aplicación de **razonamientos secuenciales a los circuitos eléctricos**, llegándose a la conclusión de que la aplicación correcta de estos esquemas constituye, en alumnos de esta edad, **auténticos obstáculos de difícil superación**.

7) En las dos áreas estudiadas, los núcleos conceptuales contruidos por los alumnos de la muestra utilizada en esta investigación presentan, al final del proceso, **una coherencia interna** importante cuando lo comparamos con la situación de partida, antes de entrenarse en la resolución de problemas de enunciado abierto. En ambas áreas, el esquema conceptual relativo al **Principio de conservación de la energía**, presenta altas correlaciones con los demás esquemas explorados. Este resultado pone de manifiesto la necesidad de que los alumnos aprendan correctamente este principio dado su capacidad de estructurar diferentes contenidos.

8) Aproximadamente un tercio de los estudiantes mantienen **esquemas conceptuales alternativos** en Mecánica y en Electricidad, destacando el que hace referencia a la existencia de *"una fuerza en la dirección del movimiento para trayectorias curvas"* y el relativo al *"voltaje como consecuencia de la corriente eléctrica y no como su causa"*. Este resultado pone de manifiesto, una vez más, la enorme dificultad que entraña el proceso de cambio conceptual que tienen que experimentar los estudiantes en el contexto de las clases de Ciencias.

En relación con la **Hipótesis 2**, en la que se planteaba una comparación del cambio conceptual producido en el grupo experimental y en el grupo control (sujetos a una metodología tradicional de resolución de problemas), se deduce:

9) Al finalizar el proceso de entrenamiento en una metodología investigativa de resolución de problemas de enunciado abierto, **los esquemas conceptuales relativos a: caída libre de los cuerpos, principio de acción y reacción, relación fuerza/movimiento en trayectorias curvilíneas, principio de conservación de la energía mecánica, razonamiento secuencial, el problema del voltaje y el principio de conservación de la energía en circuitos eléctricos, presentan un nivel significativamente superior, siempre a favor del grupo experimental.** No se han observado diferencias para los esquemas correspondientes a **relación fuerza/movimiento en trayectorias rectilíneas y conservación de la corriente eléctrica.**

Como síntesis podemos afirmar que:

- **Los estudiantes han experimentado una evolución positiva en cuanto a su eficacia para resolver problemas de enunciado abierto. Esta evolución se ha producido independientemente del contenido específico de los problemas y ha estado acompañada de una actitud positiva hacia la tarea de resolver problemas de Física.**

- **El modelo propuesto a los estudiantes para resolver problemas de enunciado abierto, ha conseguido en ellos un cambio conceptual significativo y persistente en el tiempo. Además, al final del proceso, los estudiantes utilizan los esquemas con un grado mayor de coherencia.**

- **La metodología empleada, ha resultado más eficaz, en lo que al cambio conceptual se refiere, que la usualmente utilizada en nuestras aulas.**

II) Las implicaciones de las diferencias individuales en la resolución de problemas.

El estudio realizado para explorar la interacción de las variables cognitivas (DIC: dependencia-independencia de campo y nivel de desarrollo formal) y el sexo, sobre el cambio conceptual experimentado por los estudiantes y su eficacia a la hora de resolver problemas, fue previsto en las **Hipótesis 3 y 4**, y de su contrastación, realizada mediante un análisis de correspondencias múltiple, hemos sacado las conclusiones que se presentan a continuación:

10) Los alumnos independientes de campo presentan, en general, un mayor nivel de desarrollo de pensamiento formal que los calificados como dependientes. Un análisis pormenorizado muestra una relación mayor para las pruebas basadas en inclusión de clases y en cálculo de probabilidades, siendo menor para las otras habilidades exploradas: cálculo combinatorio y lógica de proposiciones.

No aparece asociación cuando introducimos en el análisis, la variable categórica ligada al sexo.

Estas conclusiones constituyen una aportación más a la corriente investigadora que está apoyando la idea de que la competencia formal de los individuos está influenciada, a la hora de actuar, por sus diferentes estilos cognitivos, especialmente por la dependencia/independencia de campo.

En cuanto a las relaciones detectadas entre las variables cognitivas y las que han determinado **el cambio conceptual** dentro del campo de la Física, podemos decir:

11) Una vez terminado el proceso y al cabo de diez meses de su finalización, **las variables** que definen los niveles de contestación en Mecánica y Electricidad, **están claramente relacionadas con las variables que determinan el DIC y el nivel de pensamiento formal de los estudiantes**. Por el contrario, en la evaluación inicial, no se ha encontrado relación entre estos grupos de variables.

La variable ligada al sexo no interacciona con el cambio conceptual experimentado por los individuos.

Para estudiar la interacción de las variables de tipo psicológico sobre la eficacia de los sujetos como resolventes de problemas, vamos a dividir las conclusiones de acuerdo con la tarea realizada. Así, en problemas de enunciado abierto y en lo referente al conjunto de variables consideradas globalmente, hemos concluido que:

12) Las características individuales han interaccionado con el entrenamiento realizado, de forma que los alumnos que obtienen valores más altos en las variables cognitivas son más eficaces resolviendo problemas de enunciado abierto. Estos resultados aparecen para las dos áreas estudiadas.

Cuando se realiza un estudio pormenorizado según el tipo de variables, se ha visto que:

13) En conjunto, las variables metodológicas relativas a las etapas del proceso de resolución, **están más relacionadas con las características cognitivas** de los sujetos, que las ligadas a **los contenidos**.

Dentro de las variables metodológicas, las que determinan la **capacidad de los estudiantes para emitir hipótesis y elaborar estrategias de resolución**, son las más afectadas por las **características individuales de los sujetos**, siempre a favor de los independientes de campo y los de mayor nivel de pensamiento formal.

En lo relativo a problemas de enunciado cerrado:

14) Se mantiene la influencia del nivel de desarrollo formal en la eficacia mostrada por los individuos a la hora de **resolver problemas de enunciado cerrado**. Por el contrario, no se han encontrado correlaciones significativas con el estilo cognitivo dependencia-independencia de campo para este tipo de tareas.

Para terminar esta descripción de resultados, indicar que:

15) La variable definida a partir del sexo de los individuos, no ha introducido diferencias significativas en el proceso de resolución para ningún tipo de problema propuesto.

Otra de las finalidades del trabajo que hemos realizado, ha consistido en favorecer en los estudiantes estrategias de metacognición sobre el proceso de resolución de problemas, asumiendo la importancia que tiene para el aprendizaje, el que los estudiantes se hagan conscientes de sus intenciones, de sus capacidades

y de las demandas que les presentan las tareas escolares. En esta línea, se ha constatado que:

16) A través de las entrevistas realizadas, los alumnos reconocieron como etapas de máxima dificultad para la resolución de problemas, las correspondientes al **análisis inicial** y a la **emisión de hipótesis**. Como consecuencia de la observación directa, el análisis de resultados se añadió a las consideradas "etapas difíciles".

Los procesos de retroalimentación, incorporados al método de enseñanza, han conseguido mejoras importantes en todas las etapas citadas (del orden de 50 puntos de media) si bien, la evaluación final pone de manifiesto que la capacidad de **emitir hipótesis** es, relativamente, la que ha experimentado una evolución menor. Cuando se ha controlado la variable dependencia/independencia de campo, en el análisis de las respuestas de los alumnos a las entrevistas, se comprueba que esta capacidad es la que presenta una mayor interacción con el estilo cognitivo.

Como síntesis global podemos decir que:

- **Se ha encontrado interacción entre las variables cognitivas y el entrenamiento de los estudiantes en una metodología investigativa de resolución de problemas de enunciado abierto. Esta interacción indica que los individuos caracterizados por los valores más altos en las variables cognitivas -dependencia/independencia de campo y nivel de desarrollo del pensamiento formal- consiguen al final del proceso mejores resultados, tanto en lo relativo al cambio conceptual producido como a su eficacia para**

resolver problemas. No se ha detectado interacción entre la variable sexo y la eficacia del trabajo realizado.

Para terminar, retomando el planteamiento que hicimos en la introducción acerca del **carácter integrador** que había presidido nuestra investigación, podemos afirmar que, las conclusiones obtenidas pueden apoyar toda una corriente de investigación encaminada a relacionar variables de corte psicológico con la eficacia de los estudiantes para resolver tareas de contenido científico, todo ello en contextos educativos normalizados.

9.3. IMPLICACIONES DIDACTICAS

A la hora de reflejar las implicaciones que los resultados de esta investigación pueden tener para la enseñanza de la Física, vamos a recurrir a cuatro aspectos diferentes, planteados a modo de preguntas, a los que esta investigación ha tratado de responder:

- 1) ¿Qué enseñar?**
- 2) ¿Cómo aprenden Ciencias los alumnos?**
- 3) ¿Cómo se puede enseñar Física dentro de un aula?**
- 4) ¿Cómo influyen las características psicológicas de los individuos?**

1) La resolución de problemas como eje para desarrollar el currículo de Ciencias.

Dentro del área de Ciencias, la resolución de problemas es reconocida como una actividad esencial, encontrándose integrada en todos los currículos académicos, considerándose además, instrumento indispensable para la evaluación de los resultados obtenidos por los estudiantes. Como hemos presentado en el primer capítulo, se han venido realizando en los últimos veinte años, un gran número de trabajos sobre el tema y consecuentemente, está surgiendo una corriente investigadora que intenta fundamentar y potenciar un desarrollo del currículo basado en la resolución de problemas.

Desde la perspectiva de profesor, y recogiendo las ideas del párrafo anterior, un análisis de los resultados obtenidos en esta investigación, pone de manifiesto **la virtualidad de abordar nuestro currículo escolar, en lo que a Física se refiere, utilizando la resolución de problemas como actividad básica dentro de las clases.** El hecho de que los problemas propuestos son de enunciado abierto -abordándose con una metodología de tipo investigativo- ha familiarizado a los estudiantes con aspectos esenciales del conocimiento científico, desarrollando en ellos estrategias de metaaprendizaje, al mismo tiempo que favorece una actitud positiva hacia la resolución de problemas en el marco general del aprendizaje de las Ciencias.

2) La teoría constructivista del aprendizaje

En el marco teórico del constructivismo, **aprender Ciencia es reconstruir los conocimientos partiendo de las propias ideas de los individuos,** ampliándolas o modificándolas según los casos. En esta línea, **el aprendizaje como cambio conceptual,** es uno de los indicadores que definen actualmente la posición constructivista en el campo de la Didáctica de las Ciencias.

Para trabajar en el aula, nosotros hemos asumido un modelo didáctico basado en esta perspectiva, aceptando además la hipótesis del **conflicto sociocognitivo** según la cual, se produce una mejora en el aprendizaje mediante la interacción entre iguales cuando pueden confrontar sus esquemas acerca de la tarea que se les propone.

La investigación realizada muestra que la aplicación de estos planteamientos, ha producido en los estudiantes **un cambio conceptual altamente**

significativo, tanto en el campo de la **Mecánica**, como en **Electricidad**. Los esquemas conceptuales son utilizados al final del proceso con una mayor coherencia interna persistiendo en el tiempo.

Estos resultados ponen de manifiesto la pertinencia de asumir la perspectiva constructivista sobre como aprenden las personas conceptos científicos y en consecuencia, aplicarlas a situaciones escolares estándar.

3) La metodología de trabajo dentro del aula: un compromiso entre varias orientaciones.

Los profesores, que tienen que enseñar Física en Bachillerato se enfrentan a un *problema* difícil que ha tratado de responderse desde distintas orientaciones. Nosotros hemos adoptado *una solución* de integración entre algunas de las propuestas que, con una perspectiva investigativa, se han realizado.

Por una parte, el trabajo dentro del aula se ha desarrollado con una metodología orientada por el **paradigma investigación-acción** donde el profesor juega el doble rol profesor/investigador, participando en el proceso de estudio y mejora de la práctica educativa. En esta perspectiva, la información recogida a través de los mecanismos adecuados han permitido, a lo largo del proceso, poner en marcha las correspondientes estrategias de realimentación fundamentales en esta orientación, donde una de las ideas clave es la de **investigar para la acción**.

De acuerdo con la teoría constructivista del aprendizaje asumida por nosotros, la secuencia didáctica empleada en el entrenamiento de resolución de problemas ha previsto las siguientes situaciones:

- Los estudiantes tienen que explicitar sus ideas acerca de un problema determinado haciéndose conscientes de sus propias limitaciones a la hora de resolverlo (fase preliminar).

- El profesor orienta el trabajo familiarizando a los alumnos con la metodología de resolución de problemas propuesta (fase de enfoque).

- Los alumnos discuten con sus compañeros y el profesor las diferentes soluciones propuestas percibiendo si estas, conducen o no, a resultados satisfactorios (fase de confrontación).

- La solución alcanzada, previamente sometida a un análisis crítico, puede transferirse a distintas situaciones (fase de aplicación).

En cuanto al modelo de evaluación empleado, aspecto fundamental en todo planteamiento didáctico, hemos adoptado una evaluación formativa que, aplicada a lo largo del proceso, ha permitido incorporar las modificaciones pertinentes. En este modelo, el alumno participa activamente en las actividades evaluativas lo que, en nuestra opinión, favorece aspectos relacionados con la motivación y el metaaprendizaje.

La evolución detectada en los alumnos que han compuesto el grupo experimental de esta investigación, tanto en su capacidad para resolver problemas de Física como, en la consecución de un cambio conceptual significativo, pensamos que es **deudora, en gran parte, de la metodología con que se ha trabajado en el aula.**

4) La relevancia de las diferencias individuales

Tomando como punto de partida que los estudiantes aprenden de forma diferenciada, los profesores deben asumir esta realidad a la hora de enseñar Física. La investigación que ahora presentamos ha tenido como finalidad realizar algunas aportaciones en este sentido.

En lo relativo al estilo cognitivo que hemos estudiado, los sujetos dependientes de campo presentan ciertas limitaciones para seleccionar y organizar la información, realizar planteamientos analítico-numérico de una situación y, en términos generales, para todas las actividades que lleven aparejada tareas de **reestructuración cognitiva**.

De cara a la resolución de problemas, los alumnos dependientes, se diferencian de los independientes en "*cómo*" resuelven la tarea y dentro del estudio realizado, hemos visto la especial interacción de este estilo con la capacidad de los sujetos para emitir hipótesis -controlando variables- y elaborar estrategias de resolución. La enseñanza de la Física en cuanto a la resolución de problemas se refiere, debería de tomar en cuenta las limitaciones de los alumnos dependientes de campo y, en consecuencia, los profesores diseñar materiales encaminados a entrenar a los estudiantes en destrezas concretas de resolución de problemas.

En cuanto a la interacción del nivel de desarrollo de pensamiento formal de los individuos sobre las tareas a realizar existe un mayor consenso, en la comunidad investigadora e incluso entre los profesores, sobre la existencia real de esta influencia e incluso se han diseñado propuestas curriculares al respecto. Los resultados obtenidos corroboran esta realidad y, en nuestra opinión, el

entrenamiento con metodologías investigativas de resolución de problemas como la propuesta, en que los alumnos tienen que emitir hipótesis, controlar variables, analizar críticamente las soluciones etc. favorecen claramente su desarrollo evolutivo.

Las conclusiones que hemos presentado, ponen de manifiesto **la importancia de conocer las características cognitivas de los estudiantes de cara a realizar dentro de las aulas un tratamiento diferenciado lo que constituye, en la actualidad, un reto para los profesores de Ciencias.**

9.4. NUEVAS PERSPECTIVAS DE INVESTIGACION

La solución de un *problema* en el campo de las Ciencias, termina siempre con la aparición de *nuevos problemas*. Esto es exactamente lo que ha ocurrido a medida que hemos ido resolviendo todas las cuestiones que nos habíamos planteado al principio de nuestra investigación, presentadas de forma resumida en la **Introducción** de esta memoria. Al finalizar este trabajo quedan abiertas una serie de interrogantes en las que sería muy interesante profundizar en futuras investigaciones.

En lo que hace referencia a propuestas metodológicas para enseñar a resolver problemas, a lo largo de esta investigación hemos estudiado la eficacia del modelo propuesto comprobando si su puesta en práctica dentro del aula, produciría cambios conceptuales en los estudiantes. Con ánimo de validar el modelo, en el sentido apuntado, abogamos por su utilización con alumnos universitarios de Ciencias a fin de estudiar su viabilidad en este nivel educativo. Este planteamiento nos parece pertinente ya que, tal como hemos comentado detalladamente en los **Capítulos 3 y 4**, existen en alumnos universitarios de carreras científicas, porcentajes nada despreciables de esquemas conceptuales alternativos sobre cuestiones básicas de Física, lo que nos permite investigar en este ámbito **estrategias de trabajo encaminadas a conseguir cambios conceptuales significativos**.

En la línea apuntada, hemos realizado algunos ensayos con grupos de estudiantes de la **Facultad de Educación-Centro de Formación del Profesorado**

(título de maestro, plan 1971) pertenecientes a la especialidad de Ciencias. Se ha trabajado con la metodología propuesta para resolver problemas de enunciado abierto de Física y Química, siendo los primeros resultados muy alentadores.

En cuanto a considerar la interacción de las diferencias individuales sobre procesos de aprendizaje en el campo de las Ciencias, los investigadores en este campo opinan, que la resolución de problemas debe tener en cuenta tres dimensiones: dominio de conocimiento, métodos de resolución y características individuales de los resolventes. Existe consenso sobre las dos primeras, estando en discusión cuáles son, efectivamente, las características de los estudiantes que van a ser relevantes para la resolución de problemas. En el estudio realizado, hemos considerado algunas de estas diferencias individuales (estilo cognitivo dependencia/independencia de campo, nivel de desarrollo del pensamiento formal y sexo) sugiriendo los resultados obtenidos la necesidad de futuras profundizaciones en este campo.

Para terminar, exponer nuestro deseo de que esta investigación sea una aportación constructiva para un **problema abierto**, cuyo enunciado podría coincidir con el título del I Coloquio Interdisciplinar sobre Educación realizado recientemente en Madrid: *"Métodos y contenidos en Enseñanza: elementos para una polémica"*.

BIBLIOGRAFIA

- ACEVEDO, J.A. (1989). Comprensión newtoniana de la caída de cuerpos. Un estudio de su evolución en el Bachillerato. *Enseñanza de las Ciencias*, 7, (3), 241-246.
- ACEVEDO, J.A. (1993). ¿Qué piensan los estudiantes sobre la ciencia?. Un enfoque CTS. *Actas IV Congreso Internacional sobre Investigación en la Didáctica de las Ciencias y de las Matemáticas*, Barcelona, 10-11.
- ACEVEDO, J.A, BOLIVAR, J.P., LOPEZ MOLINA, E.J. y TRUJILLO, M. (1989). Sobre las concepciones en Dinámica elemental de los adolescentes formales y concretos y el cambio metodológico. *Enseñanza de las Ciencias*, 7,(1), 27-34.
- AGUIRRE DE CARCER, I. (1985). *Los adolescentes y el aprendizaje de las Ciencias*. Servicio de Publicaciones del MEC, Madrid.
- AHLAWAT, K. y BILLEH, V. (1982). The factor structure of the Longeot test: a mesure of logical thinking. *Journal of Research in Science Teaching*, 19, (8), 647-658.
- AHLAWAT, K. y BILLEH, V. (1987). Comparative investigation of the psychometric properties of three tests of logical thinking. *Journal of Research in Science Teaching*, 24, (2), 93-105.
- ALIBERAS, J., GUTIERREZ, R. e IZQUIERDO, M. (1989). La Didáctica de las Ciencias: una empresa racional. *Enseñanza de las Ciencias*, 7, (3), 277-284.
- ALVAREZ, J.M. (1986). Investigación cuantitativa/investigación cualitativa: ¿Una falsa disyuntiva?. *En Métodos cualitativos y cuantitativos en investigación evaluativa*. Morata, Madrid. 9-23.

- ANDERSSON, B (1986). The experiential gestalt of causation: a common core to pupil's preconceptions in Science. *European Journal Science Education*, 8, (2), 155-171.
- A.P.U.(1984), (Assesment of Performance Unit). *Science Reports for teachers:2*. Association for Science Education, Herts, Inglaterra.
- ATWATER, M^a M. y ALICK, B. (1990). Cognitive development and problem solving of afroamerican students in chemistry. *Journal of Research in Science Teaching*, 27, (2), 157-172.
- AUSUBEL, P.D. (1978). *Psicología educativa. Un punto de vista cognoscitivo*. Trillas, Méjico.
- BASCONES, J. y NOVAK, J. (1985). Alternative instructional systems and the development of problem-solving skills in physics. *European Journal of Science Education*, 7, (3), 253-261.
- BENZECRI, J.P. (1973). *L'Analyse des données*. Dunod, Paris.
- BISQUERRA, R. (1989 a). *Métodos de investigación educativa*. CEAC, Barcelona.
- BISQUERRA, R. (1989 b). *Introducción conceptual al análisis Multivariable Un enfoque informático con los paquetes*. SPSS-X, BMDP, LISREL y SPAD, Vol II. PPU, Barcelona.
- BLISS, J., MONK, M y OGBORN, J. (1983) *Qualitative data analysis for educational research. A guide to uses of systemic networks*. Croom Helm, Londres.

- BROOK A. y DRIVER R., (1984). *Aspects of Secondary students' Understanding of Energy*. Children's Learning in Science Research Group, CSSME, University of Leeds.
- BUNGE, M. (1979). *La investigación Científica*. Ariel, Barcelona.
- CAILLOT, M. (1985). Problem representations and problem solving procedures in electricity. En: R. Duit., W Jung y Rhoneck: *Aspects of understanding electricity*. Kiel, Alemania. 139-151.
- CAILLOT, M. y DUMAS-CARRE, A. (1987). PROPHY: Un enseignement d'une méthodologie de résolution de problèmes de Physique. En *Résolution de problèmes en mathématique et en physique. Rapports de recherches*, (12), 199-244, Paris INPR editors.
- CARBALLO, R. (1990). *Evaluación de un programa de formación ocupacional*. Tesis doctoral. Universidad Complutense de Madrid.
- CARR,W. y KEMMIS, S. (1988). *Teoría crítica de la enseñanza: La investigación-acción en la formación del profesorado*. Morata, Madrid.
- CARRASCOSA, J. (1987). *Tratamiento didáctico en la enseñanza de las Ciencias, de los errores conceptuales*. Tesis Doctoral. Universidad de Valencia.
- CARRASCOSA, J. y GIL, D. (1985). La metodología de la superficialidad y el aprendizaje de las Ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 3, (2), 113-120.
- CARRETERO, M. (1980a). Investigaciones sobre el pensamiento formal. *Revista de Psicología General y Aplicada*, 35, (1), 1-28.

- CARRETERO, M. (1980b). Desarrollo intelectual durante la adolescencia: Competencia, actuación y diferencias individuales. *Infancia y Aprendizaje*, 12, 81-98.
- CARRETERO, M. (1982). El desarrollo del estilo cognitivo dependencia-independencia de campo. *Infancia y Aprendizaje*, 18, 65-82.
- CARRETERO, M. (1986). El desarrollo cognitivo en la adolescencia y la juventud: Las operaciones formales. En A. Marchesi y M. Carretero y J. Palacios (Eds), *Psicología Evolutiva 3. Adolescencia, madurez y senectud*. Alianza, Madrid. 37-93.
- CARRETERO, M. (1989). Teorías neopiagetinas. En A. Marchesi y M. Carretero y J. Palacios (Eds), *Psicología Evolutiva 1. Teorías y métodos*. Alianza, Madrid. 195-219.
- CARRETERO, M. y PALACIOS, J. (1982). Los estilos cognitivos. Introducción al problema de las diferencias cognitivas individuales. *Infancia y Aprendizaje*, 17, 20-28.
- CASE, R. (1974). Mental strategies, mental capacity, and instruction: a neopiagetian investigation. *Journal of Experimental Child Psychology*, 18, 382-397.
- CASE Project. (1989). *Cognitive Acceleration through Science Education*. Kings College, Londres.
- CHALMERS, R.F. (1984). *¿Qué es esa cosa llamada Ciencia?* Siglo XXI, Madrid.
- CHAMPAGNE, A.B., KLOPFER, L.E. y ANDERSON, J.H. (1980). Factors influencing the learning of classical mechanics. *American Journal Physics*, 48, 1074-1079.

- CHANDRAN, S., TREAGUST, D.F. y TOBIN, K. (1987). The role of cognitive factors in chemistry achievement. *Journal of Research in Science Teaching*, 24 (2), 145-160.
- CHI, M. y GLASER, R. (1986). Capacidad de resolución de problemas. En J. Sternberg, *Las capacidades humanas: un enfoque desde el procesamiento de la información*. Labor, Barcelona. 293-324.
- CHI, M., FELTOVICH, P.J. y GLASER, R. (1981). Categorization and Representation of Physics Problems by Experts and Novices. *Cognitive Science*, 5, 121-152.
- CHIAPPETTA, E. (1976). A review of piagetian studies relevant to science instruction at the secondary and college level. *Science Education*, 60, (2), 253-261.
- CLAXTON, G. (1984). *Live and Learn*. Harper & Row, Londres, Trad. cast.: *Vivir y aprender* (1987). Alianza, Madrid.
- CLEMENT, J. (1982). Students' preconceptions in introductory mechanics, *American Journal of Physics*, 50, 66-71.
- CLEMENT, J. (1983). *Observed methods for generating analogies in scientific problem solving* (Contract No. SED 80-16567) Washintong, DC. National Science Foundation, Program for Research in Science Education.
- CLOSSET, J. (1983). Sequential reasoning in electricity. *Actes Atelier International d'été*. La Londe les Maures, Francia. 313-319.
- CLOSSET, J. (1989). Les Obstacles à l'apprentissage de l'électrocinétique. *Bulletin de L'Union des physiciens*, 716, 913-949.

- COHEN, R., EYLON, B. y GANIEL, U. (1983). Potencial difference and current in simple electric circuits: a study of students Concepts. *American Journal of Physics*, 51, (5), 407-412.
- COLL, C. (1984). Estructura grupal, interacción entre alumnos y aprendizaje escolar. *Infancia y Aprendizaje*, 27/28, 119-138.
- COOK, T.D. y CAMPBELL D.T. (1979). *Quasi-experimentation. Design and analysis Issues for Field Settings*. Rand McNally, Chicago.
- COOK, T.D. y REICHARDT, CH.S. (1986). *Métodos cualitativos y cuantitativos en investigación evaluativa*. Morata, Madrid
- CORRAL, A. (1982). La influencia del estilo cognitivo. Dependencia-Independencia de campo en la resolución de dos problemas de Física. *Infancia y aprendizaje*, 18, 107-123.
- COSGROVE, M., OSBORNE, R.J. y TASKER, C.R. (1983). Towards Generative learning. *Working Paper 205* (New Zealand Science Education Research Unit.) University of Waikato, Nueva Zelanda.
- CRONBACH, L.J. (1957). The two disciplines of the scientific psychology. *American Psychologist*, 12, 671-684.
- CUBERO, R. (1988). Los marcos conceptuales de los alumnos como esquemas de conocimiento. Una interpretación cognitiva. *Investigación en la Escuela*, 4, 3-11.
- DI SESSA, A. (1982). Unlearning Aristotelian physics: A study of knowledge-based learning. *Cognitive Science*, 6, 37-75.

- DRIVER, R. (1986). Psicología cognoscitiva y esquemas conceptuales de los alumnos. *Enseñanza de las Ciencias*, 4, (1), 3-15.
- DRIVER, R. (1988). Un enfoque constructivista para el desarrollo del curriculum en ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 6, (2), 109-120.
- DRIVER, R. (1989). Students' conceptions and the learning of science. *International Journal Science Education*, 11, Special Issue, 481-490.
- DRIVER, R. (1992). *Una visión constructivista del Aprendizaje y sus implicaciones en la Enseñanza de la Ciencia*. Encuentro de Trabajo sobre Investigación y Desarrollo del currículo en Ciencias, CIDE, Madrid.
- DRIVER, R. y ERICKSON, G. (1983). Theories in Action. Some theoretical and empirical issues in the study of student conceptual frameworks. *Studies in Science Education*, 10, 37-60.
- DRIVER, R., GUESNE, E., TIBERGHIE, A. (1985). *Children's ideas in science*. Open University Press: Milton Keynes, England. Trad. cast. *Ideas científicas en la infancia y la adolescencia*. (1989). Morata, Madrid.
- DRIVER, R. y WARRINGTON, L. (1985). Students' use of the principle of energy conservation in problem situations. *Physics Education*, 20, 171-176.
- DUIT, R. (1983). Energy conceptions held by students and consequences for science teaching. *Seminar on misconceptions in Science and Mathematics*. Ithaca, Cornell University.
- DUIT, R. (1984). Learning the energy concept in school empirical results from the Philippines and West Germany. *Physics Education*, 19, 59-66.

- DUPIN, J.J. y JOSHUA, S. (1986). L'électrocinétique du Collège à l'Université: évolution des représentations des élèves, et impact de l'enseignement sur ces représentations. *Bulletin l'Union de Physiciens*, 683, 779-800.
- DUPIN, J.J. y JOSHUA, S. (1989). *Experimentations d'approches hypothético-deductives de la physique en classe de seconde: conditions et évaluation*. Vol 1. Groupe de Recherche en Didactique de la Physique de Marseille, France.
- ELLIOTT, J. (1986). *Mejorar la calidad de la enseñanza mediante la investigación en la acción*. Investigación/acción en el aula. Generalitat Valenciana, Valencia.
- ELLIOTT, J. (1990). *La investigación-acción en educación*. Morata, Madrid.
- ELLIOTT, J. (1993). *El cambio educativo desde la investigación-acción*. Morata, Madrid.
- ENGEL CLOUGH, E. y DRIVER, R. (1986). A Study of consistency in the use of students' conceptual framework across different task contexts. *Science Education*, 70, (4), 473-496.
- ESPINOSA-GARCIA, J. y ROMAN, T. (1993). Actitudes hacia la ciencia en estudiantes universitarios de ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 11, (3), 297-300.
- EYLLON, B.S. y LINN, M.C. (1988). Learning and instruction: An Examination of Four Research Perspectives in Science Education. *Review of Educational Research*, 58, (3), 251-301.
- FALLS, T.H. y VOSS, B. (1985). *The ability of high school chemistry students to solve computational problems requiring proportional reasoning as affected by items*

in-task variables. Artículo presentado al Annual Meeting of the National Association for Research in Science Teaching. April 15-18.

FERNANDEZ BALLESTEROS, R. (1980). Del estilo cognitivo "Dependencia-independencia de campo" a una teoría de la diferenciación. *Revista de Psicología General y Aplicada*, 35, (3), 467-490.

FERNANDEZ BALLESTEROS, R. y MACIA, A. (1981). Estudio diferencial con el Test de Figuras Enmascaradas. *Anuario de Psicología*, 2.

FERNANDEZ PEREZ, M. (1986) *Evaluación y cambio educativo: el fracaso escolar*. Morata, Madrid.

FEYNMAN, R. et al. (1971). *Física Vol 1: Mecánica, radiación y calor*. Ed. Fondo Educativo Interamericano, México.

FLAVELL, J.H. (1963). *The developmental psychology of Jean Piaget*, Van Nostrand, Princenton. Trad. cast. *La psicología evolutiva de Jean Piaget*. (1976). Paidós, Buenos Aires.

FLAVELL, J.H. (1976). *Metacognitive Aspects of Problem Solving in The Nature of Intelligence*, L.B. Resnick (ed.), Hillsdale, Nueva Jersey. 231-235.

FOX, D. (1987). *El proceso de investigación en educación*. Universidad de Navarra, Pamplona.

FREDETTE, N. y LOCHHEAD, J. (1980). Students' conceptions of simple circuits. *The Physics Teacher*, 18, 194-198.

GARCIA BARNETO, A. y BARRIOS ARIAS, V. (1993). Evolución del conocimiento físico. *Enseñanza de las Ciencias*, 11, (2), 115-124.

GARCIA HOZ, V. y PEREZ JUSTE, R. (1989). *La investigación del profesor en el aula*. Escuela Española. Madrid.

GARCIA RAMOS, J.M. (1989). *Los estilos cognitivos y su medida: estudios sobre la dimensión Dependencia-Independencia de campo*. Centro de publicaciones del MEC, Madrid.

GARCIA, J.M.; ORTIZ, A.; SANTISTEBAN, A. y VARELA, P. (1989). Iniciación a la investigación en el aula. *Investigación en la Escuela*, 8, 73-77.

GARRET, R.M. (1984). *Selected cognitive styles and aspects of their relationship to Problem Solving: An Empirical Study using Problems in Physics*. Ph. D. Thesis, University of Keele.

GARRET, R.M. (1986). Problem-solving in Science Education. *Studies in Science Education*, 13, 70-95.

GARRET, R.M. (1987). Issues in science education: problem-solving creativity and originality. *International Journal of Science Education*, 9, (2), 125-137

GARRET, R.M. (1988). Resolución de problemas y creatividad: Implicaciones para el currículo de ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 6, (3), 224-230.

GARRET, R.M. (1989) Problem-solving and Cognitive Style. *Research in Science Technological Education*, 7, (1), 27-44.

GARRET, R.M., SATTERLY, D., GIL-PEREZ, D. Y MARTINEZ-TORREGROSA, J. (1990). Turning exercises into problems: An experimental study with teachers in training. *International Journal Science Education*, 12, (1) 1-12.

- GAULD, C.F. (1985). *Teaching about electric circuits*. Learning in Science Project. Working Paper 209. Waikato University, Nueva Zelanda.
- GIL, D. (1983). Tres paradigmas básicos en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 1, (1) , 26-34.
- GIL, D. (1993). Psicología Educativa y Didáctica de las ciencias: los procesos de enseñanza/aprendizaje de las ciencias como lugar de encuentro. *Infancia y aprendizaje*, 62-63, 171-185.
- GIL, D. y MARTINEZ-TORREGROSA, J. (1983). A model for problem-solving in accordance with scientific methodology. *European Journal of Science Education*, 5, (4), 447-455.
- GIL, D. y CARRASCOSA, J. (1985) Science learning as a conceptual and methodological change. *European Journal of Science Education*, 7, (3), 231-236
- GIL, D. y MARTINEZ-TORREGROSA, J. (1987). *La resolución de problemas de Física*, Vicens Vives-MEC, Madrid.
- GIL, D., DUMAS-CARRE, A., CAILLOT, M. MARTINEZ-TORREGROSA, J. y RAMIREZ, L. (1988 a). La resolución de problemas de lápiz y papel como actividad de investigación. *Investigación en la Escuela*, 6, 3-20.
- GIL, D., MARTINEZ-TORREGROSA, J y SENNENT PEREZ, F (1988 b). El fracaso en la resolución de problemas de física: una investigación orientada por nuevos supuestos. *Enseñanza de las Ciencias*, 6, (2), 131-146.
- GIL, D., CARRASCOSA, J., FURIO, C. y MARTINEZ TORREGROSA, J. (1991). *La enseñanza de las ciencias en la educación secundaria*. Horsori, Barcelona.

- GIL, D., DUMAS-CARRE, A., CAILLOT, M. y MARTINEZ-TORREGROSA, J. (1991). Paper and pencil problem solving in the physical sciences as a research activity. *Studies in Science Education*, 18, 137-151.
- GILBERT, J.L. (1980). How do I get the Answer?. Problem solving in Chemistry. *Journal of Chemical Education*, 57, (1), 79-81.
- GILBERT, J.K., OSBORNE, R.J. y FENSHAM, P.J. (1982). Childrens science and its consequences for teaching. *Science Education*, 66, (4), 623-633.
- GIMENO, J. y PEREZ GOMEZ, A. (1985). *La enseñanza: su teoría y su práctica* Akal, Madrid.
- GIMENO, J. (1988). *Teoría de la enseñanza y desarrollo del currículo*. Anaya, Madrid.
- GIORDAN, A. y VECCHI, G. (1988). *Los orígenes del saber. De las concepciones personales a los conceptos científicos*. Diada Editoras, Sevilla.
- GLASERFELD, E. VON. (1989). Cognition, Construction of Knowledge and Teaching. *Synthese*, 80, 121-140.
- GUILFORD, J. (1976) *Estructura de referencia para el comportamiento creativo en el arte. Implicaciones educativas de la creatividad*. J.C. Gowan, E. Demos y E.P. Torrance, Anaya. Salamanca.
- GUNSTONE, R.F. y WATTS, M. (1985). Fuerza y movimiento. *En Ideas científicas en la infancia y adolescencia*. Morata, Madrid. 85-104.
- GUNSTONE, R.F. y WHITE, R.T. (1981). Understanding of gravity. *Science Education*, 65, 291-299.

- HARTEL, H. (1982). The electric circuits as a system: a new approach. *European Journal Science Education*, 4, (1), 45-55.
- HASHWEH, M.Z. (1986). Toward an explanation of conceptual Change. *European Journal Science Education*, 8, (3), 229-249.
- HEWSON, P.W. (1992). *El cambio conceptual en la enseñanza de las Ciencias y la formación de profesores*. Encuentro "Investigación y Desarrollo del Currículo en la Enseñanza de las Ciencias" CIDE, Madrid.
- HEWSON, P.W. y HEWSON, M.G. (1988). An appropriate conception of teaching science: A view from studies of science learning. *Science Education*, 5, 597-614.
- HEWSON, P.W. y HENNESEY, M.G. (1991a). Making status explicit: A case study of conceptual change. In R. Duit, F. Goldberg, y H. Niedderer (Eds.) *Research in Physics Learning: Theoretical Issues and Empirical Studies*, 176-187. Kiel, Germany: IPN, (Proceedings of an International Workshop held in Bremen, Germany, March 4-8, 1991).
- HEWSON, P.W. y HENNESEY, M.G. (1991b). *Understanding force and motion in a sixth grade classroom*. Paper presented at annual meeting, American Association of Physics Teachers, Vancouver, BC, Canada.
- HIERREZUELO, J. y MONTERO, A. (1989). *La Ciencia de los alumnos. Su utilización en la didáctica de la Física y la Química*. Laia/MEC., Madrid.
- HODSON, D. (1988). Towards a philosophically more valid science curriculum. *Science Education*, 72, (1), 19-40.

- HUTEAU, J.M. (1980). Dependence-Independence à l'égard du champ et développement de la pensée opératoire. *Archives Psychologiques* XLVIII, 184, 1-40.
- INHELDER, B., PIAGET, J. (1955). *De la logique de l'enfant à la logique de l'adolescent*. Paris: P.U.F. Trad. cast. *De la lógica del niño a la lógica del adolescente*. (1972). Paidós. Buenos Aires.
- JOSHUA, S. (1983). La "métaphore du fluide" et le raisonnement en courant". *Actes Atelier International d'été*, La Londe les Maures, France. 321-330.
- KELLY, G.A. (1955). *The Psychology of Personal constructs*. Norton. Nueva York.
- KORAN, M.L. y KORAN, J.J. (1984). Aptitude-treatment interaction research in Science Education. *Journal of Research in Science Teaching*, 21, (8), 793-808.
- KRAMERS-PALS, H., LAMBRECHTS, J. y WOLFF, P.J. (1983). The transformation of quantitative problems to standard problems in general chemistry. *European Journal Science Education*, 5, (3), 275-287.
- KRAMERS-PALS, H. y PILOT, A. (1988). Solving quantitative problems: guidelines for teaching derived from research. *International Journal Science Education*, 10, (5), 511-521.
- KUHN, T.S. (1962) *The structure of scientific revolutions*. Chicago. University Press Chicago. Trad. cast. *La estructura de las revoluciones científicas*. (1975). Fondo de Cultura Económica. México.
- LAKATOS, I. (1978). *The methodology of scientific research programmes: philosophical papers*. Cambridge University Press. Trad. cast. *La metodología de los programas de investigación científica*. (1983). Alianza, Madrid.

- LARKIN, J.H. (1981). Cognition of learning physics. *American Journal of Physics*, 49, (6), 534-541.
- LARKIN, J.H. (1983). A general knowledge structure for learning or teaching science. In A. C. Wilkinson (Ed). *Computers and cognition*. New York. Academic Press.
- LARKIN, J.H. y REIF, F. (1979). Understanding and Teaching Problem-solving in Physics. *European Journal Science Education*, 1, (2), 191-203.
- LARKIN, J.H. y RAINARD, B. (1984) A research methodology for studying how people think. *Journal or research science teaching*, 21, (3), 235-254.
- LATORRE, A. y GONZALEZ, R. (1987) *El maestro investigador. La investigación en el aula*. Grao. Barcelona.
- LAWSON, A.E. (1985). A review of research on formal reasoning and science teaching. *Journal of Research in Science Teaching*, 22, (7), 569-617.
- LAWSON, A. E. y WOLLMAN, W.T. (1977). Cognitive level, cognitive style and value judgment. *Science Education*, 61, 397-407.
- LAWSON, R. y McDERMOTT, L.(1986). Student understanding of the work energy and impulse-momentum theorems. *American Journal of Physic*, 55, (9), 811-817.
- LEBART,L., MORINEAU, A. y FECULON, J.P. (1985). *Tratamiento estadístico de datos*. Marcombo, Barcelona.
- LEWIN,K. (1946). Action-research as minority problems. *Journal of Social Issues*, 2, 34-46.

- LINN, M.C. (1978). Influence of cognitive style and Training on Tasks Requiring the separation of variables schema. *Child Development*, 49, 874-877.
- LINN, M.C. (1987), Establishing a research base for science education: challenges, trends, and recommendations, *Journal of Research in Science Teaching*, 24, (3), 191-216.
- LINN, M.C. y KYLLONEN, P. (1981). The Field Depedence-Independence Construct: Some, One or None. *Journal of Educational Psycology*, 73, (2), 261-273.
- LLORENS, J.A. (1991). *Comenzando a aprender Química*. Visor. Madrid.
- LONGEOT, F. (1965). Analyse statistique de trois test genetique collectifs. *Bulletin de l'Institute National d'Etude*, 20, (4), 219-237.
- LONGEOT, F. (1969). *Phychologie differentielle et théorie operatoire de l'intelligence*. Editorial Dunod, Paris. Trad. cast. *Psicología diferencial y teoria operatoria de la inteligencia*. (1978). Omega, Barcelona.
- LOPEZ GOMEZ, D. y RODA SALINAS, F.J. (1984). Variables de inteligencia y dependencia de campo. *Comunicación I Congreso de Evaluación de Psicología*, Madrid.
- LOPEZ RUPEREZ, F. (1989). DIC y Educación Científica. *Revista de Educación*, 289, 235-258.
- LOPEZ RUPEREZ, F. (1991). *Organización del conocimiento y resolución de problemas en Física*. Centro de Publicaciones del MEC, Madrid.
- LOPEZ RUPEREZ, F., PALACIOS, C., BRINCONES, I., GARROTE, R. y SANCHEZ, J. (1986). Pensamiento formal y rendimiento en Física. Análisis de

la validez del test de Longeot por referencia a test de rendimiento. *Enseñanza de las Ciencias*, 4,(1), 36-43.

LOPEZ RUPEREZ, F., PALACIOS, C., BRINCONES, I., SANCHEZ, I., y GARROTE, R. (1987). Evolución del nivel piagetiano de desarrollo cognitivo en alumnos de Bachillerato. Un estudio longitudinal. *Revista de Psicología General Aplicada*, 41, (5), 849-870.

LOPEZ RUPEREZ, F., PALACIOS, C. y SANCHEZ, J. (1991). Relation of Field Independence and Test-Item Format to Student Performance on Written Piagetian Tests. *Journal of Research in Science Teaching*, 28, (5), 389-400.

MAICHLE, U (1981). *Representations of knowledge in basic electricity and its use for problem solving*. Paper at the "Problems concerning students" representations of Physics & Chemistry knowledge" Conference. Ludwigsburg, FR Germany.

MALONEY, D.P.. (1984). Rule-governed approaches to physics Newton's third law. *Physics Education*, 19, 37-42.

MARTINEZ AZNAR, M.M. (1990). Perspectivas sobre tipos y resolución de problemas. *Actas de las VII Jornadas de estudio sobre la Investigación en la Escuela*, Sevilla. 38-44.

MARTINEZ-TORREGROSA, J.(1987). *La resolución de Problemas de Física como Investigación: Un Instrumento de Cambio Metodológico*. Tesis doctoral. Universidad de Valencia.

MATTHEWS, M.R. Vino viejo en botellas nuevas: un problema con la epistemología constructivista. *Enseñanza de las Ciencias*, 12, (1), 79-88.

- MAYER, R.E. (1986). *Pensamiento, resolución de problemas y cognición*. Paidós, Barcelona.
- McCLELLAND, J.A.G. (1984). Alternative Frameworks: Interpretation of evidence. *European Journal of Science Education*, 6, (1), 1-6.
- McCLOSKEY, M. (1983). Intuitive physics. *Scientific American*, 248,122-130.
- McDERMOTT, L.C. (1984). Research on conceptual understanding in mechanics. *Physics Today*, 37, 24-32.
- MEDINA, A. (1989). *Didáctica e Interacción en el Aula*. Cincel-Kapelusz. Madrid.
- METTES, W., PILOT, A., ROOSSINK, H.J., KRAMERS-PALS H. (1980). Teaching and Learning Problem solving in Science. Part. I. A general strategy. *Journal of Chemical Education*, 57, (12), 882-885.
- METTES, W., PILOT, A., ROOSSINK, H.J., KRAMERS-PALS, H. (1981). Teaching and Learning Problem solving in Science. Part II. Learning Problem solving in a thermodynamics course. *Journal of Chemical Education*, 58, (1), 51-55.
- MILLAR, R. (1989) Constructive criticisms. *International Journal of Science Education*, 11, (5), 587-596.
- MILLAR, R. (1993). Students' understanding of voltage in simple electric circuits. *International Journal Science Education*, 15, (3), 339-349.
- MILLAR, R. y DRIVER, R. (1987). Beyond Processes, *Studies in Science Education*, 14, 33-62.

- MORALES, M. y MORENO, M. (1993). Problemas en el uso de los términos cualitativo/cuantitativo en Investigación Educativa. *Investigación en la Escuela*, 21, 39-50.
- MORENO, A. (1989) Metaconocimiento y aprendizaje escolar. *Cuadernos de Pedagogía*, 173, 53-58.
- NIAZ, M. (1989a). The role of cognitive style and its influence on proportional reasoning. *Journal of Research in Science Teaching*, 26, (3), 221-235.
- NIAZ, M. (1989b). Relation between Pascual-Leone's structural and functional M-space and its effect on problem solving in chemistry. *International Journal Science Education*, 11, (1), 93-99.
- NIAZ, M. (1991) Correlates of formal operational reasoning: a neo-piagetian analysis. *Journal of Research in Science Teaching*, 28, (1), 19-40.
- NIAZ, M. y LAWSON, E.A. (1985). Balancing chemical equations: The role of developmental level and mental capacity. *Journal of Research in Science Teaching*, 22, (1), 41-51.
- NORMAN, D.A. y RUMELHALT, D.E. (1975). *Exploration in cognition*. W.H.. Freeman, San Francisco.
- NOVAK, J. y GOWIN, D. (1988). *Aprendiendo a aprender*. Martínez Roca, Barcelona.
- NUSSBAUM, J. (1985). *The particulate nature of matter in the gaseous phase*. En R. Driver, E. Guesne y A. Tiberghien (Ed.), *Children's ideas in science*. Milton Keynes: Open University Press. (1989). Morata, Madrid. 124-144.

- NUSSBAUM, J. (1989). Classroom conceptual change: Philosophical perspectives. *International Journal of Science Education*, 11, 530-540.
- NUSSBAUM, J. y NOVICK, S. (1982). Alternative framework, conceptual conflict and accomodation: Toward a principled teaching strategy. *Instructional Science*, 11, (3), 183-200.
- OÑORBE, A.M. (1990). Solo ante el problema. *Cuadernos de Pedagogía*, 175, 12-15.
- OÑORBE, A.M. (1993). *Análisis de dificultades en la enseñanza-aprendizaje de resolución de problemas de Física y Química*. Tesis Doctoral. Universidad de Alcalá de Henares.
- ORTEGA, P., SAURA, J.P. y MINGUEZ, R. (1993). La formación de actitudes positivas hacia el estudio de las Ciencias Experimentales. *Revista de Educación*, 301, 167-196.
- OSBORNE, R.J. (1981). Children ideas about electric current. *New Zealand Science Teacher*, 29, 12-19.
- OSBORNE, R.J. (1983). Towards modifying children's ideas about electric current. *Research in Sience and Technological Education*, 1, 73-82.
- OSBORNE, R.J., BELL, B. y GILBERT, J. K. (1983). Science teaching and children's views of the world. *European Journal Science Education*, 5, (1), 1-14.
- OSBORNE, J.R. y FREYBERG, P. (1985). *Learning in Science. The impliations of children's Sience*. Heinemann, London. Trad. cast. *El aprendizaje de las Ciencias*. (1991). Narcea. Madrid.

- OSBORNE, J.R. y GILBERT, K.J. (1980). A technique for exploring students views of the world. *Physics Education*, 50, (6), 376-379.
- OSBORNE, J.R. y WITTROCK, M. (1985). The generative learning model and its implications for science education. *Studies in Science Education*, 12, 59-87.
- PALACIOS, J. (1982). Reflexibilidad-impulsividad. *Infancia y Aprendizaje*, 17, 29-69.
- PALACIOS, C., LOPEZ RUPEREZ, F., GARROTE, R. y MONTES, P. (1989). Procesos de la ciencia y desarrollo cognitivo en Bachillerato. *Enseñanza de las Ciencias*, 7, (2), 132-140.
- PALACIOS, C. y LOPEZ RUPEREZ, F. (1992) Resolución de problemas de Química, mapas conceptuales y estilo cognitivo. *Revista de Educación*, 297, 293-314.
- PALACIOS, C. y VARELA, P. (1993). La enseñanza de las ciencias en España, resultados del estudio realizado por el IAEP (International Assessment of Educational Progress). *IV Congreso Internacional sobre Investigación en la Didáctica de las Ciencias y de las Matemáticas*. Barcelona.
- PASCUAL-LEONE, J. (1978). *La teoría de los operadores constructivos*. En: Delval, J.A. (comp) *Lecturas de psicología del niño*, Vol. 1. Alianza, Madrid 208-227.
- PERALES, F.J. (1993) La resolución de problemas: una revisión estructurada. *Enseñanza de las Ciencias*, 11, (2), 170-178.
- PERRET-CLERMONT, A.N. (1981). *La construcción de la inteligencia en la interacción social*. Visor, Madrid.
- PIAGET, J. (1929). *La représentation du monde chez l'enfant*. PUF, Paris. Trad. cast. *La representación del mundo en el niño*. (1973). Morata, Madrid.

- PIAGET, J. (1975). *L'équilibration des structures cognitives. Problème central du développement*, PUF, Paris. Trad.cast. *La equilibración de las estructuras cognitivas*. (1978). Siglo XXI, Madrid.
- POPE, M.L. y GILBERT, J. (1983). Personal experience and the construction of knowledge in science. *Science Education*, 67, (2), 193-203.
- POLYA, G (1945). *How to solve it*. Princeton NJ, Princeton University Press.
- PORLAN, R. (1987). El maestro como investigador en el aula. Investigar para conocer conocer para enseñar. *Investigación en la Escuela*, 1, 63-70.
- POSNER, G., STRIKE, D. HEWSON, P. Y GERTZOG, W. (1982). Accomodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66, (2), 211-227.
- POZO, J.I. (1987). *Aprendizaje de la ciencia y pensamiento causal*. Visor, Madrid.
- POZO, J.I. (1989). Adquisición de estrategias de aprendizaje. *Cuadernos de Pedagogía*, 175, 8-11.
- POZO. J.I. (1993). Psicología y Didáctica de las Ciencias de la naturaleza. ¿Concepciones alternativas?. *Infancia y Aprendizaje*, 62-63, 187-204.
- POZO, J.I., GOMEZ, M.A. LIMON, M. y SANZ, A. (1991). *Procesos cognitivos en la comprensión de la Ciencia: las ideas de los adolescentes sobre la Química*. Centro de Publicaciones del MEC , Madrid.
- PREECE, P.F. (1984) Intuitive Science: Learned or Triggered? *European Journal of Science Education*, 6, (1), 7-10.

- PSILLOS, D., KOUMARAS, P. y TIBERGHIE, A. (1988). Voltage presented as a primary concept in an introductory teaching sequence on D.C. circuits. *International Journal of Science Education*, 10, (1), 29-43.
- RAMIREZ, L. (1990). *La resolución de Problemas de Física y Química como Investigación en la Enseñanza Media: un instrumento de cambio metodológico*. Tesis doctoral. Universidad Autónoma de Barcelona.
- REIF, F. (1981). Teaching problem solving: A scientific approach. *The Physics Teacher*, 19, 310-316.
- REIF, F. y HELLER, J.I. (1982). Knowledge structure and problem solving in physics. *Educational Psychologist*, 17, (2), 102-127.
- REIF, F. y LARKIN, J.H. (1991). Cognition in Scientific and Everyday Domains: Comparison and Learning Implications. *Journal of Research in Science Teaching*, 28, (9), 733-760.
- RESNICK, L.B. y GLASER, R. (1976). *Problem-Solving and Intelligence. The Nature of Intelligence*, L.B. Resnik (ed), Hillsdale, Nueva Jersey.
- RHONECK, C. (1983). *Semantics structures describing the electric circuit before and after instruction*. Actes Atelier International d'été. 303-312. La Londe les Maures. Francia.
- RHONECK, C. (1985). *The introduction of voltage as an independent variable. The importance of preconceptions, cognitive conflict and operating rules. Aspects of understanding Electricity*. Proceedings of an International Workshop, Ludwigsburg 1984, IPN Kiel, 275-286.

- RHONECK, C. y GROB, K. (1987). Representation and problem-solving in Basic Electricity. Predictors for Successful learning. *Proceeding of the Second International Seminar misconceptions and educational strategies in science and mathematics*. Cornell University, Ithaca, Vol III, 564-577.
- RODA SALINAS, F.J. (1982). La dependencia-independencia de campo como variable individual en los procesos de enseñanza. *Studia Paedagogica*, 10, 83-89.
- ROMO SANTOS, M. (1987). Treinta y cinco años del pensamiento divergente: La creatividad de Guilford. *Estudios de Psicología*, 27/28, 175-192.
- RONNING, R.R., MC CURDY, D. y BALLINGER, R. (1984). Individual differences: A third component in problem-solving instruction. *Journal of Research in Science Teaching*, 21, (1), 71-82.
- ROSALES, C. (1981). *Criterios para una evaluación formativa*. Narcea, Madrid.
- RUMELHART, D.E. y NORMAN, D.A. (1978). Accretion, tuning and restructuring: Three modes of learning. En J.W. Cotton y R. Katzky (Eds) *Semantic factors in cognition*. Hillsdale, N.J. Erlbaum.
- SALTIEL, E. y VIENNOT, L. (1985). ¿Qué aprendemos de las semejanzas entre las ideas históricas y el razonamiento espontáneo de los estudiantes?. *Enseñanza de las Ciencias*, 3, (2), 137-145.
- SANTISTEBAN, A. y VARELA, P. (1992). Un modelo de formación de profesores fundamentado en la reflexión teoría-práctica. *Complutense de Educación*, 3, (1, 2), 105-116.
- SANTOS, M. A. (1993). La evaluación: un proceso de diálogo, comprensión y mejora. *Investigación en la Escuela*, 20, 23-35.

- SCHIBECI, R.A. (1982). Measuring student attitudes: semantic differential or likert instruments. *Science Education*, 66, (4), 565-570.
- SEBASTIA, J.M. (1984). Fuerza y movimiento: la interpretación de los estudiantes. *Enseñanza de las Ciencias*, 2, (3), 161-169.
- SEBASTIA, J.M. (1993). ¿Cuál brilla más?: Predicciones y reflexiones acerca del brillo de las bombillas. *Enseñanza de las Ciencias*, 11, (1), 45-50.
- SELVERATNAM, M. (1983). Students mistakes in problem solving, *Education in Chemistry*, 20, (4), 125-132.
- SELVERATNAM, M. (1990). Problem-solving-a model approach. *Education in Chemistry*, 27, (6), 163-165.
- SELVERATNAM, M y FRAZER, M.J. (1982). *Problem solving in Chemistry*. Heineman. Londres.
- SERRANO, T. (1988). Actitudes de los alumnos y aprendizaje de las ciencias. Un estudio longitudinal. *Investigación en la Escuela*, 5, 29-38.
- SERRANO, T. (1992). *El desarrollo conceptual del sistema nervioso en niños de 5 a 14 años. Modelos mentales*. Tesis doctoral, Universidad Complutense de Madrid.
- SHAYER, M. y ADEY, P. (1984). *La ciencia de enseñar ciencia*. Narcea, Madrid.
- SHIPSTONE, D.M. (1984). A study of children's understanding of electricity in simple D.C. circuits. *European Journal Science Education*, 6, 2, 185-198.

SHIPSTONE, D.M.. (1988). Pupils understanding of simple electrical circuits, some implication for instruction. *Physics Education*, 23, 92-96.

SHIPSTONE, D.M., RHONECK, C., KARRQVIST, C., DUPIN, J. y LICHT, P. (1988). A study of students' understanding of electricity in five European countries. *International Journal Science Education*, 10, (3), 303-316.

SIEGEL, S. (1979). *Estadística no paramétrica, aplicada a la ciencia de la conducta*. Trillas, Mexico.

SIMON, H.A. (1978). La teoría del procesamiento de la información sobre la solución de problemas. En *Lecturas de Psicología del pensamiento*, Carretero, M. y García Madruga, A., Alianza, Madrid. 197-220.

SIMON, D.P. y SIMON, H.A. (1978). Individual difference in solving physics problems. In R.S. Siegler (Ed.) *Children's thinking: What develops?* Hillsdale, NJ: Erlbaum.

SIMPSON, R. y OLIVER, S. (1990). A summary of Major Influences on Attitudes toward and Achievement in Science among Adolescent Students. *Science Education*, 74, (1), 1-18.

SOLBES, J. y VILCHES, A. (1989). Interacciones Ciencia-Técnica-Sociedad: Un instrumento de cambio actitudinal. *Enseñanza de las Ciencias*, 7, (1), 14-20.

SOLOMON, J. (1985). Teaching the conservation of energy. *Physics Education*, 20, 165-170.

SOLOMON, J. (1987), Social influences on the construction of pupils' understanding of science. *Studies in Science Education*, 14, 63-82.

- STENHOUSE, L. (1987). *Investigacion y desarrollo del curriculum*. Morata, Madrid.
- SUCHTING, W.A. (1992). Constructivism Deconstructed. *Science Education*, 1, (3), 223-254.
- TERRY, C. y JONES, G. (1986). Alternative frameworks: Newton's third law and conceptual change. *European Journal of Science Education*, 8, (3), 291-298.
- TIBERGHIE, A. (1983). Revue critique sur les recherches visant à élucider le sens des notions de circuits électriques pour les élèves de 8 à 20 ans. *Actes Atelier International d'été*, La Londe les Maures, France. 109-123.
- TIBERGHIE, A. y DELACOTTE, G. (1976). Manipulations et représentations de circuits électriques simples pour les enfants de 7 à 12 ans. *Revista francesa de pedagogía*, 34, 32-44.
- TINAJERO, C. y PARAMO, M.F. (1993) Influencia de la DIC sobre el rendimiento académico en el ámbito educativo: una revisión crítica. *Revista de Psicología General y Aplicada*, 46, (2), 199-208.
- TOBIN, K.G. y CAPIE, W. (1981). The development and validation of a group test of logical thinking. *Educational and Psychological Measurement*, 41, 413-423.
- TOULMIN, S. (1972). *La comprensión humana. I: el uso colectivo y la evolución de los conceptos*. Alianza, Madrid.
- TRUMPER, R. (1993). Children's energy concepts: a cross-age study. *International Journal Science Education*, 15, (2), 139-148.

- UENO, N. y ARIMOTO, N. (1993). Aprendizaje de la física mediante la expansión del metacontexto de los fenómenos. *Comunicacion, Lenguaje y Educación*, 19-20, 109-127.
- VARELA, P., MANRIQUE, M.J. y FAVIERES, A. (1988). Circuitos eléctricos: una aplicación de un modelo de enseñanza-aprendizaje basado en las ideas previas de los alumnos. *Enseñanza de las Ciencias*, 6, (3), 285-290.
- VARELA, P., FAVIERES, A., MANRIQUE, M.J., y P. DE LANDAZABAL, M.C. (1993). *Iniciación a la Física en el marco de la teoría constructivista*. Centro de Publicaciones del MEC, Madrid.
- VERA BLANCO, J.J. (1991). *Análisis de problemas experimentados por los alumnos del último curso de educación secundaria en el aprendizaje de la Física. Estudio de cuatro grupos del bachiller experimental. Algunas perspectivas didácticas*. Tesis Doctoral. Universidad Complutense de Madrid.
- VERA BLANCO, J.J. (1994). Definición correcta de conceptos y resolución de problemas: Relaciones entre ambas dentro de un grupo de COU. *Revista Española de la Física*, 8, (1), 57-59.
- VIENNOT, L. (1976). *Le raisonnement spontané en Dynamique Élémentaire*. Tesis doctoral. Université Paris 7. Publicada en 1979 por Herman, Paris.
- VIENNOT, L. (1979). Spontaneous reasoning in elementary dynamics. *European Journal of Science Education*, 1, 205-221.
- VIENNOT, L. (1989). La didáctica de la enseñanza Superior ¿para qué?. *Enseñanza de las Ciencias*, 7, (1), 3-13.

- VYGOTSKI, L.S. (1934). *Myshlenie i rech.* Trad. cast. *Pensamiento y lenguaje.* (1977). La Pléyade, Buenos Aires.
- VYGOTSKI, L.S. (1978). *Mind in society. The development of higher psychological process.* Trad. cast. *El desarrollo de los procesos psicológicos superiores.* (1979). Crítica, Barcelona.
- WATTS, D.M. (1980). An exploration of students understanding of the concepts "force" and "energy". *International Conference on Education for Physics Teaching.* Trieste.
- WARREN, J.W. (1971). Circular motion. *Physics Education*, 6, (2), 74-77.
- WATTS, D.M. y ZULBERSZTAJN, A. (1981). A survey of some children's ideas about force. *Physics Education*, 16, 360-365.
- WHITE, R. y GUNSTONE, R.(1989). Metlearning and conceptual change. *International Journal Science Education*, 11, 577-586.
- WHEATLEY, G.H. (1991). Constructivist Perspectives on Science and Mathematics Learning. *Science Education*, 75, (1), 9-21.
- WITKIN, H.A. (1969). Social influences in the development of cognitive style. En: Goslin, D.A. (Ed.) *Handbook of socialization. Theory and research.* Chicago: Ran McWally.
- WITKIN, H.A., MOORE, C.A., GOODENOUGH, D.R. y COX, P.W. (1977). Field Dependent and Field Independent cognitive styles and their educational implications. *Review of Educational Research*, 47, (1), 1-64.

WITKIN, H.A. y GOODENOUGH, D.R. (1985). *Estilos cognitivos. Naturaleza y orígenes*. Pirámide, Madrid.

WITKIN, H.A., OLTMAN, P.K., RASKIN, E. y KARP, S.A. (1987). *Tests de Figuras Enmascaradas*. Tea Ediciones S.A. Madrid.

WOODS, P. (1987) *La escuela por dentro: la etnografía en la investigación educativa*, Paidós. Barcelona.

WRIGHT, D.S. y WILLIAMS, C.D. (1986). A WISE strategy for introductory physics. *The Physics Teacher*, 24, 211-216.

ANEXO 1

PRUEBAS UTILIZADAS EN LA EVALUACION DEL CAMBIO CONCEPTUAL

En este Anexo vamos a presentar las pruebas seleccionadas en nuestra investigación para evaluar el **cambio conceptual** experimentado por los alumnos. Estas pruebas aparecen ordenadas de acuerdo con los criterios que mencionamos en el Apartado 6.4.2 del **Capítulo 6** correspondiente al diseño de la investigación. Debajo de los títulos de cada uno de las ideas exploradas, aparece el esquema conceptual alternativo que se ha detectado mayoritariamente, cuando se han analizado las contestaciones de los estudiantes objeto de este trabajo.

M E C A N I C A

M.1. PRUEBAS RELACIONADAS CON LA CAIDA DE GRAVES

Con estas pruebas se quería detectar la idea alternativa siguiente: los alumnos piensan que la masa de los cuerpos es un factor influyente en la caída libre dentro del campo gravitatorio: "*cuanto más pesa un cuerpo más deprisa cae*"

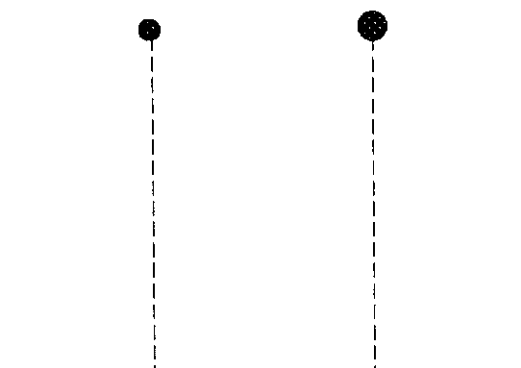
Evaluación inicial

Se lanza verticalmente un objeto hacia arriba con una velocidad dada, alcanzando una altura de 6 m. ¿Qué altura alcanzará otro objeto con la misma velocidad si su masa es la mitad que la del primero? ¿Por qué?

FIGURA 1. Caída libre de los cuerpos

Evaluación final

Dos bolas de 1 Kg y de 2 Kg respectivamente, se dejan caer simultáneamente desde la misma altura (no hay rozamiento). Señalar mediante cruces la posición de cada una de ellas tomando intervalos iguales de tiempo.



Razona tu contestación.

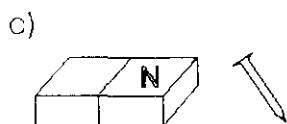
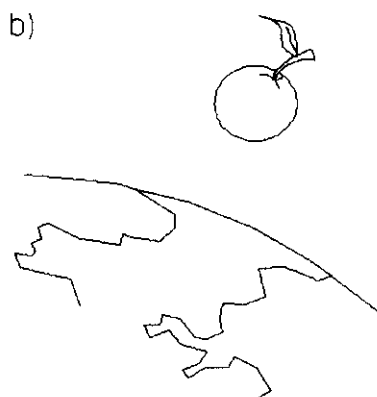
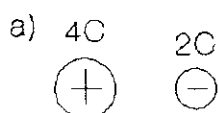
FIGURA 2. Caída libre de los cuerpos

M.2. PRUEBAS RELACIONADAS CON EL PRINCIPIO DE ACCION Y REACCION (3ª LEY DE NEWTON)

Los estudiantes reconocen que existen dos fuerzas cuando se produce una interacción, pero tienen problemas para asumir el carácter simétrico de la tercera ley de Newton realizando, cuando tienen que aplicar esta ley, un tratamiento diferente para las situaciones de reposo que para las que implican movimiento.

Evaluación inicial

En cada uno de los pares de cuerpos de los siguientes dibujos, ¿cuál atrae a cuál? ¿Cuál de los dos objetos, en cada uno de los casos: *a)*, *b)* y *c)*, ejerce una fuerza mayor?



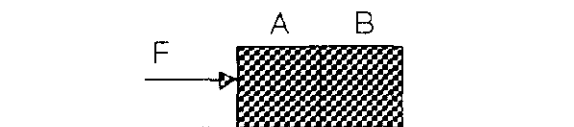
Razona tu contestación.

FIGURA 3. Principio de acción y reacción

Evaluación final

En la figura adjunta se muestran dos cuerpos que se encuentran sobre una superficie plana sin rozamiento. Ambos se hallan inicialmente en reposo, el uno junto al otro y sin presionarse. Se hace entonces una fuerza F sobre el objeto A, tal y como se muestra en la figura. Señalar a continuación cuál de las siguientes propuestas es la correcta:

- a) La fuerza que actuará sobre el objeto B será menor que F .
- b) La fuerza que actuará sobre el objeto B será igual a F .
- c) La fuerza que actuará sobre el objeto B será mayor que F .



Razona tu contestación.

FIGURA 4. Principio de acción y reacción

M.3. PRUEBAS RELACIONADAS CON FUERZA Y MOVIMIENTO (APLICACIONES DE LA 1ª Y 2ª LEYES DE NEWTON)

Los alumnos son partidarios de que el movimiento tiene lugar en la dirección de la fuerza aplicada y siempre debe haber, por tanto, una fuerza resultante en la dirección en que el cuerpo se mueve. Además: "*cuanto mayor es la velocidad mayor ha de ser la fuerza*".

M.3.1. Cuerpos moviéndose en trayectorias rectilíneas

Evaluación inicial

A continuación se representa un bloque en seis situaciones diferentes de movimiento rectilíneo. Dibuja en cada caso la fuerza neta que actúa sobre el bloque. Ten en cuenta que lo que se pide es la resultante de todas las fuerzas reales que actúan; por lo tanto, sólo debes dibujar, si la hay, una fuerza. (La flecha indica la dirección del movimiento en el instante considerado.)

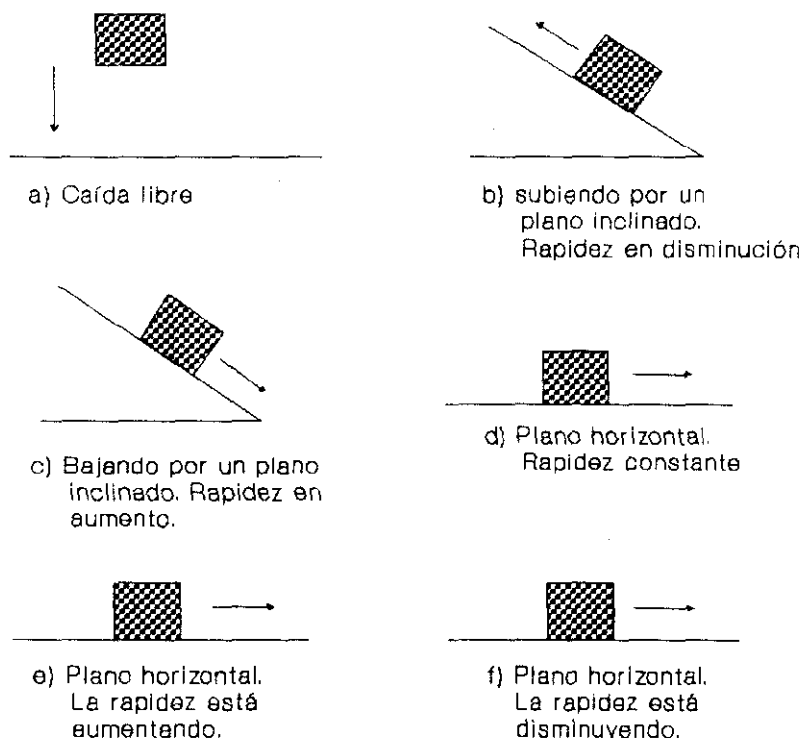
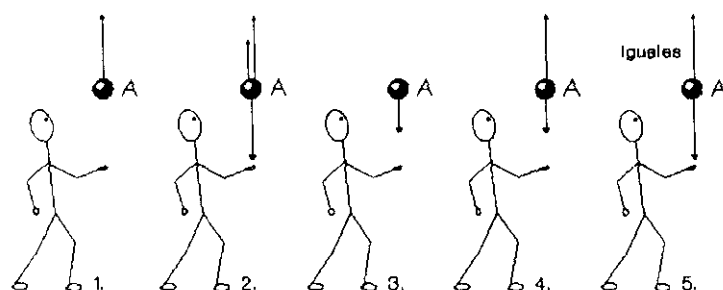


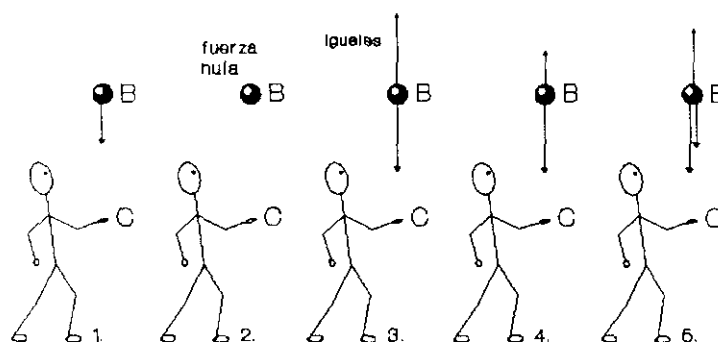
FIGURA 5. Relación fuerza/movimiento en trayectorias rectilíneas

Un niño lanza verticalmente hacia arriba una pequeña pelota. La pelota pasa al subir por el punto A, llega al punto B, donde se detiene, y luego baja hasta el punto C. Se considera despreciable la resistencia del aire. Las flechas de los dibujos se supone que muestran las fuerzas sobre la pelota. Elige una de las alternativas y explica brevemente el motivo de tu elección.

a) En el punto A, cuando la pelota está subiendo, ¿qué dibujo crees que representa mejor la fuerza sobre la pelota?



b) En el punto B, cuando la pelota se detiene momentáneamente (velocidad cero), ¿qué dibujo crees que representa mejor la fuerza sobre la pelota?

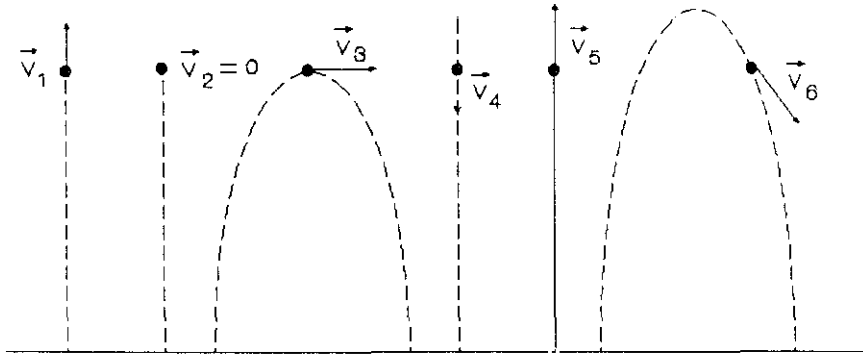


c) Dibuja las fuerzas sobre la pelota cuando se encuentre bajando en un punto intermedio entre B y C.

FIGURA 6. Relación fuerza/movimiento en trayectorias rectilíneas

Evaluación final

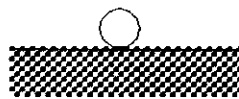
Se lanzan seis objetos idénticos al aire, describiendo distintas trayectorias representadas en la figura:



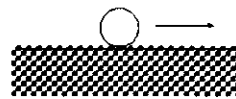
En un determinado momento las seis bolas se encuentran a la misma altura en cada una de las trayectorias. Se han señalado los vectores velocidad. Dibuja, en cada caso, la fuerza que actúa sobre la bola.

FIGURA 7. Relación fuerza/movimiento

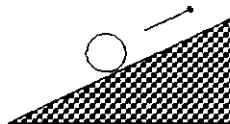
Dibujar las fuerzas reales que actúan sobre la esfera en cada caso y su resultante.



Reposo



Esfera lanzada por un plano horizontal sin rozamiento



Esfera lanzada por un plano inclinado (sin rozamiento)

FIGURA 8. Relación fuerza/movimiento en trayectorias rectilíneas

Un paracaidista se lanza desde un avión en caída libre. En un instante dado tira de la anilla abriendo su paracaídas para, a continuación y de una forma más pausada, proseguir su descenso con velocidad constante. Dibuja en cada uno de los instantes indicados las fuerzas que actúan sobre el paracaidista.

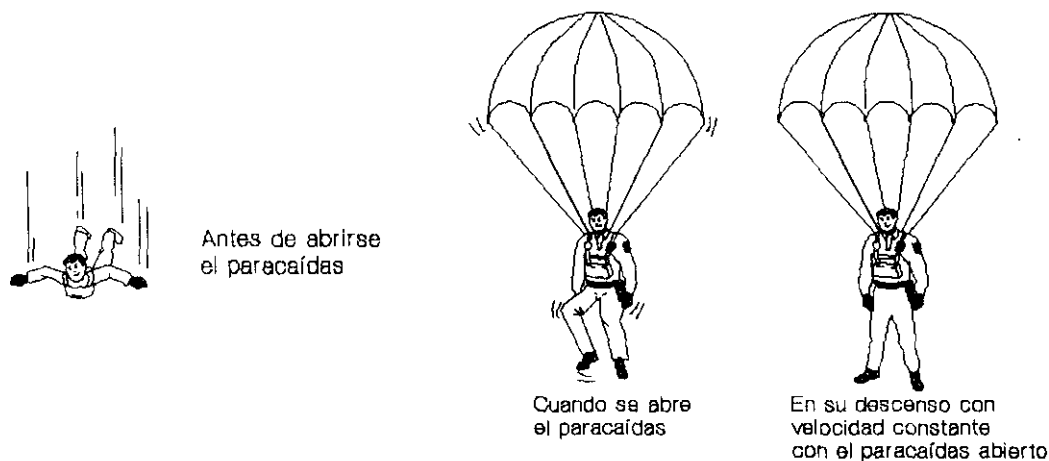


FIGURA 9. Relación fuerza/movimiento en trayectorias rectilíneas

M.3.2. Cuerpos moviéndose sobre trayectorias curvilíneas

Evaluación inicial

La figura muestra a un niño que hace girar, en un plano vertical, una piedra atada al extremo de un hilo. Se supone que las flechas muestran las fuerzas sobre la piedra ¿cuál de los dibujos crees que representa mejor las fuerzas sobre la piedra?

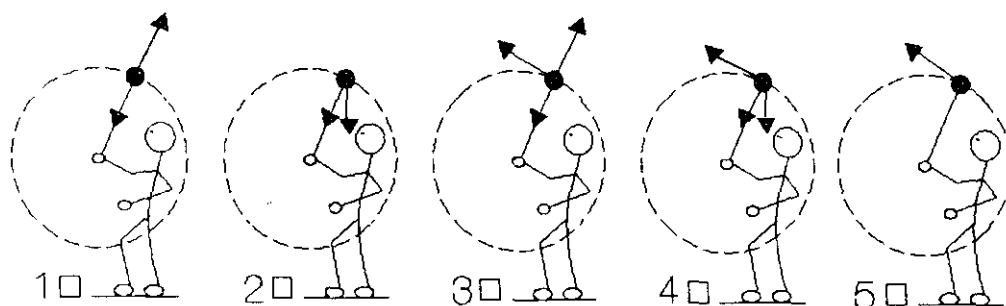


FIGURA 10. Relación fuerza/movimiento en trayectorias curvas

Cuando la Tierra gira alrededor del Sol en una órbita que consideraremos circular posee una velocidad cuyo módulo se puede considerar constante. En cuál de los cinco dibujos crees que se representa mejor la fuerza o fuerzas resultantes sobre la Tierra.

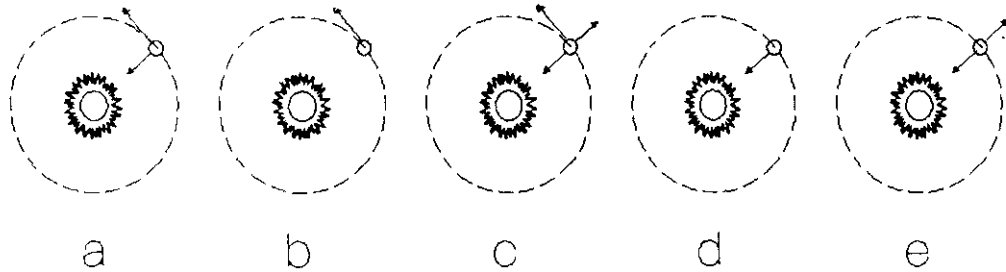


FIGURA 11. Relación fuerza/movimiento en trayectorias curvas

Un chico va corriendo a velocidad constante con una pelota en la mano. ¿Desde cual de las tres posiciones dibujadas tendrá que soltarla para que entre en el agujero?

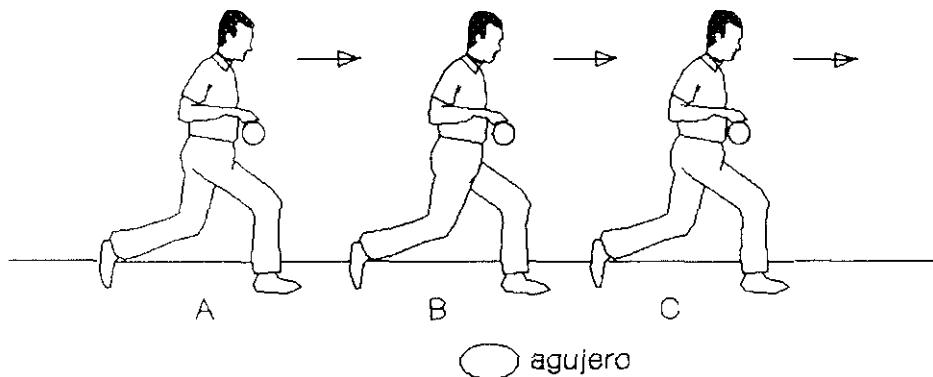


FIGURA 12. Relación fuerza/movimiento en trayectorias curvas

Evaluación final

Dibujar las fuerzas reales que actúan sobre la esfera en cada caso y su resultante.

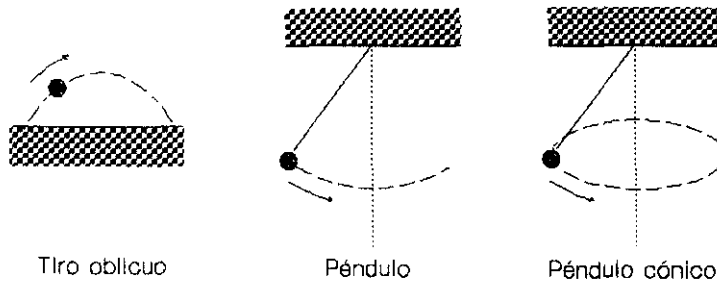


FIGURA 13. Relación fuerza/movimiento en trayectorias curvas

Una nave espacial se mueve en el espacio intergaláctico (lejos de cualquier interacción), desde un punto A a otro punto B, con los motores apagados. En el punto B, el piloto conecta los motores durante unos pocos segundos y los desconecta en el punto C, tal y como se indica en la figura. Dibuja la posible trayectoria de la nave desde el punto B hasta el C, y también la que sigue después del punto C.

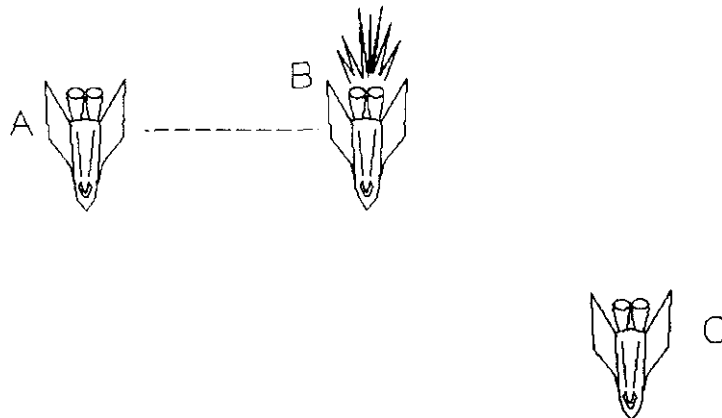


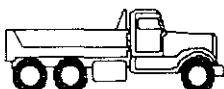
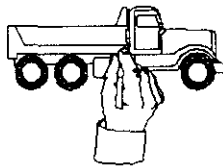
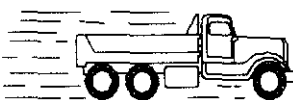
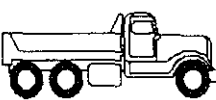
FIGURA 14. Relación fuerza/movimiento en trayectorias curvas

M.4. PRUEBAS RELACIONADAS CON EL PRINCIPIO DE CONSERVACION DE LA ENERGIA.

Los alumnos tienen problemas para asumir el principio de conservación de la energía no solo cuando aparecen transformaciones que implican cualquier tipo de energía (térmica, eléctrica, sonora...) sino también, para transformaciones que implican únicamente energías de tipo mecánico. Una dificultad añadida surge cuando tienen que considerar el hecho de que en toda transformación real una parte de energía se "pierde", generalmente en forma de energía térmica.

Evaluación inicial

El camión de Micky.

<p>Este es el camión de Micky</p> 	<p>Se le da cuerda.</p> 
<p>Se mueve</p> 	<p>...y después se para</p> 

a) ¿Cuándo tiene el camión de Micky más energía?


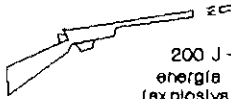
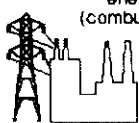
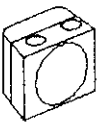
- A. Antes de que se le da cuerda.
- B. Justo cuando se le da cuerda.
- C. Cuando está en movimiento
- D. Cuando se ha parado.
- E. Siempre la misma.

b) Justifica tu elección.

FIGURA 15. Principio de conservación de la energía

CAMBIO IMPOSIBLE

Proyecto Citis

<p>A)</p>  <p style="text-align: center;">BOMBILLA $100\text{ J} \rightarrow 40\text{ J}$ energía (eléctrica) → energía (luz)</p>	<p>B)</p>  <p style="text-align: center;">RIFLE $200\text{ J} \rightarrow 250\text{ J}$ energía (explosiva) → energía de bala en movimiento</p>
<p>C)</p>  <p style="text-align: center;">CENTRAL $280000\text{ J} \rightarrow 70000\text{ J}$ energía (combustible) → energía (eléctrica)</p>	<p>D)</p>  <p style="text-align: center;">ALTAVOZ $3\text{ J} \rightarrow 0,5\text{ J}$ energía (eléctrica) → energía (sonido)</p>

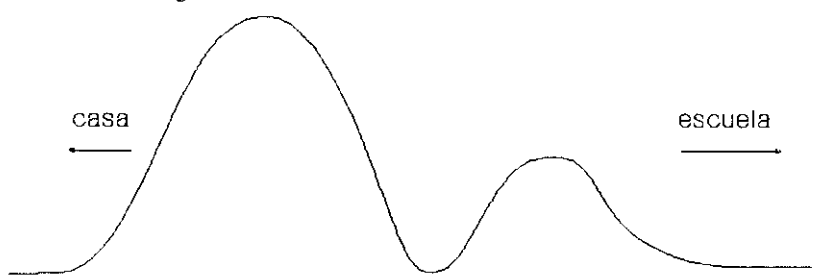
a) ¿Cuál de los cambios de energía A, B, C, D no podrá ocurrir nunca?

b) Justifica tu elección.

FIGURA 16. Principio de conservación de la energía

Evaluación final

Nieves realiza en bicicleta el trayecto de ida y vuelta entre la casa y la escuela. En su recorrido se encuentra con dos cuestras, tal como se representa en el dibujo.



Ella ha observado que si, cuando va hacia la escuela, deja de pedalear cuando está en lo alto de la cuestra mayor, la bicicleta baja y luego es capaz de superar la cuestra pequeña. En el viaje de regreso desde la escuela hacia su casa, deja de pedalear cuando se encuentra en lo alto de la cuestra pequeña.

Señala con una x en el dibujo hasta dónde llegará Nieves antes de pararse. Explica tu respuesta.

FIGURA 17. Principio de conservación de la energía

En un experimento de laboratorio un alumno deja caer una bola de cojinete desde el punto X sobre un carril metálico. Señala cuál será el punto más lejano que puede alcanzar la bola. Explica tu respuesta.

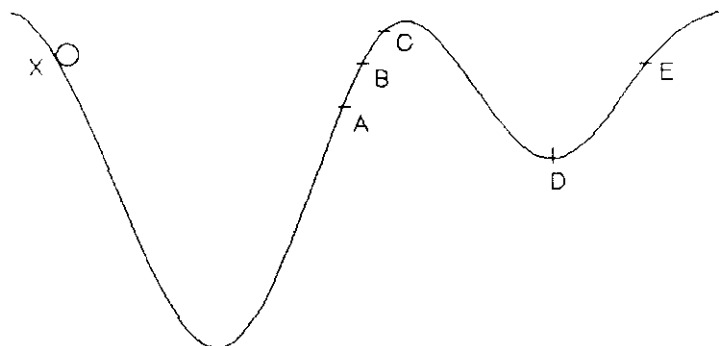


FIGURA 18. Principio de conservación de la energía

E L E C T R I C I D A D

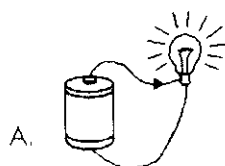
E.1. PRUEBAS RELACIONADAS CON LA CONSERVACION DE LA CORRIENTE ELECTRICA.

Los estudiantes no asumen que la corriente eléctrica se conserva en un circuito. Lo que algunos autores han llamado "metáfora del fluido en movimiento", parece ser una idea bastante extendida entre los estudiantes: *"la corriente es como un fluido que va circulando a lo largo del circuito y se va gastando"*. Se ha trabajado con circuitos serie y paralelo.

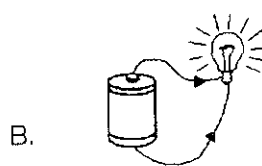
Evaluación inicial

Una batería se conecta a una bombilla como se muestra en el diagrama. La bombilla está luciendo.

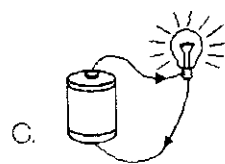
¿Con qué diagrama piensas que se describe mejor la corriente eléctrica en los cables?



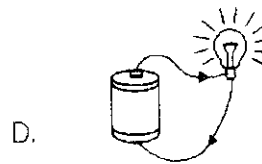
No habrá corriente en el cable conectado a la parte baja de la bombilla.



La corriente eléctrica irá en dirección a la bombilla en ambos cables.



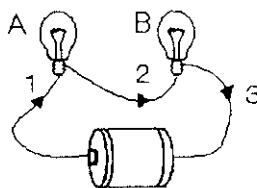
La dirección de la corriente es como se muestra. La corriente será menor en el cable de retorno.



La dirección de la corriente es como se muestra. La corriente será la misma en ambos cables.

Explica tu elección.

FIGURA 19. Conservación de la corriente eléctrica



Las lámparas A y B son idénticas.

Si No

- a) La corriente es igual en 1, 2 y 3.
- b) La corriente es mayor en 1 que en 2, y en 2 mayor que en 3.
- c) La bombilla A brilla más que la B.
- d) La bombilla A brilla igual que la B.

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Razona tu contestación

FIGURA 20. Conservación de la corriente eléctrica

Evaluación final

En el circuito siguiente las dos lámparas L_1 y L_2 son diferentes. El amperímetro A_1 marca 2 amperios. ¿Cuánto marcarán los amperímetros?

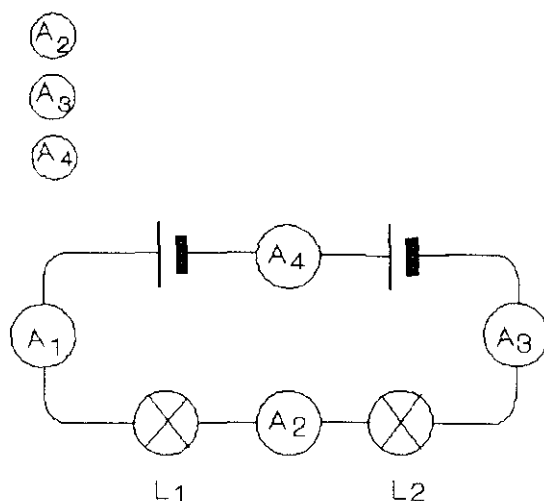
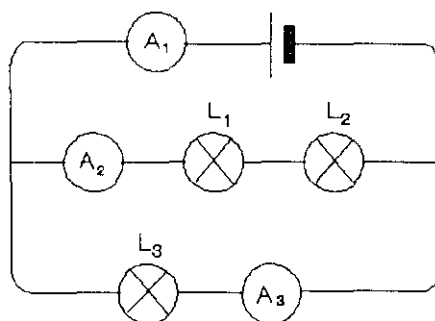


FIGURA 21. Conservación de la corriente eléctrica

En el circuito siguiente las lámparas L_1 , L_2 , L_3 son idénticas. El amperímetro A_2 mide 1 amperios y el amperímetro A_3 mide 2I amperios.

- a) ¿Cuál es la intensidad en la lámpara L_1 ?
- b) ¿Cuál es la intensidad en la lámpara L_2 ?
- c) ¿Cuál es la intensidad en la lámpara L_3 ?
- d) ¿Qué valor indica el amperímetro A_1 ?



Razona tu contestación.

FIGURA 22. Conservación de la corriente eléctrica

E.2. PRUEBAS RELACIONADAS CON LA PRESENCIA DE RAZONAMIENTOS DE TIPO SECUENCIAL.

En alumnos de cualquiera de las edades investigadas, no se acepta que un circuito es un sistema en interacción donde un cambio en cualquier elemento afecta a todo el circuito. Los razonamientos de los estudiantes responden a un análisis local del circuito, en el que se supone que si se introducen variaciones en un elemento del circuito esto, solo afectará a la corriente que sale de él, pero no a la que llega y por lo tanto solo los elementos colocados "detrás" del elemento variable sufren algún efecto en su funcionamiento.

Evaluación inicial

R_1 y R_2 son resistencias que pueden aumentar o disminuir cada una.

a) Si se disminuye R_1 , el brillo de la bombilla debe:		
AUMENTAR	DISMINUIR	QUEDAR IGUAL
b) Si R_2 aumenta, el brillo de la bombilla debe:		
AUMENTAR	DISMINUIR	QUEDAR IGUAL
c) Si R_1 aumenta, el brillo de la lámpara debe:		
AUMENTAR	DISMINUIR	QUEDAR IGUAL
d) Si R_2 disminuye, el brillo de la bombilla debe:		
AUMENTAR	DISMINUIR	QUEDAR IGUAL

FIGURA 23. Razonamiento secuencial

Evaluación final

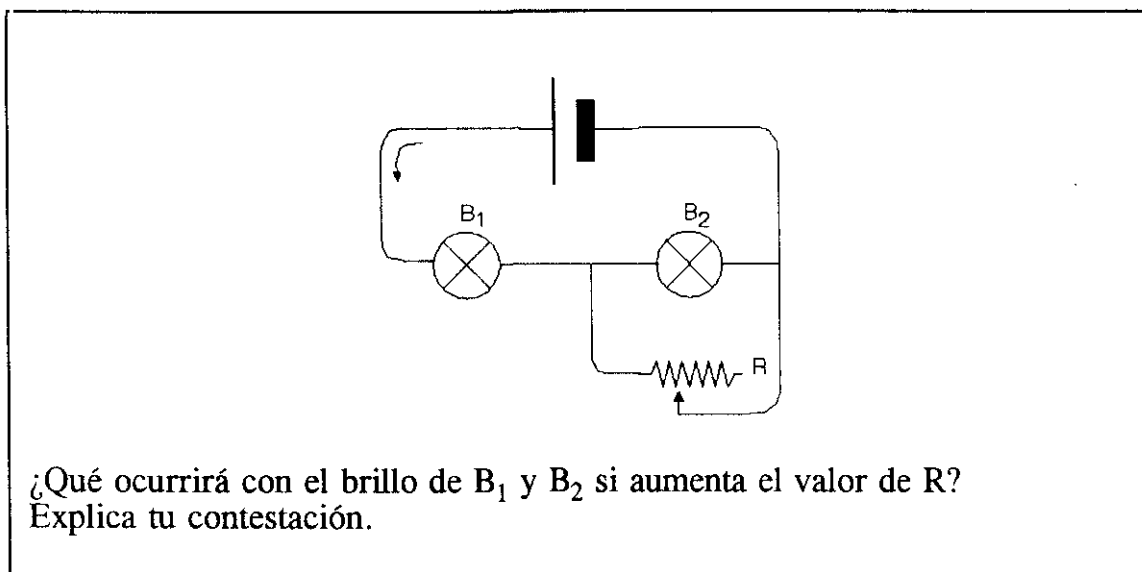


FIGURA 24. Razonamiento secuencial

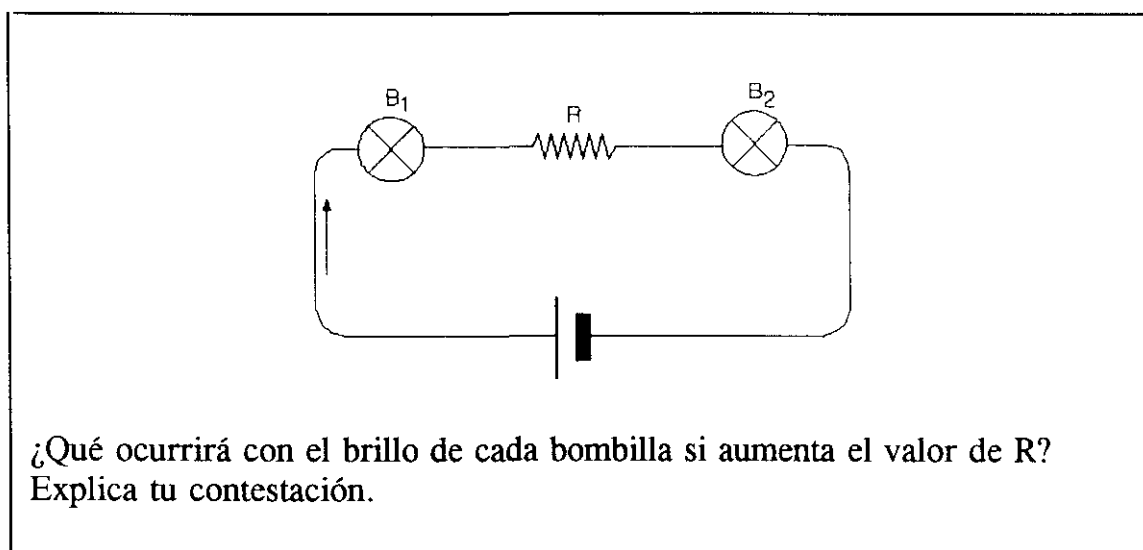


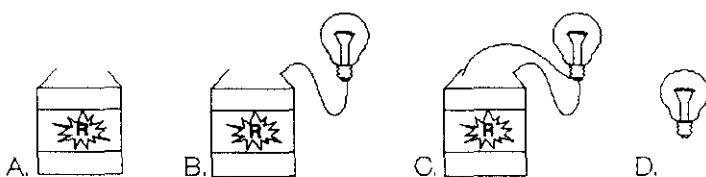
FIGURA 25. Razonamiento secuencial

E.3. PRUEBAS RELACIONADAS CON EL CONCEPTO DE VOLTAJE

Un gran número de estudiantes consideran que el voltaje es una "consecuencia" de que la corriente circule en un circuito y no su "causa". Los estudiantes enfatizan el concepto de corriente eléctrica (concepto de 1º orden) frente a la diferencia de potencial (concepto de 2º orden) cuando analizan circuitos eléctricos. Una aplicación indiscriminada de la ley de Ohm conduce a no conocer la existencia de d.d.p. aunque no circule corriente eléctrica.

Evaluación inicial

Observa los cuatro dibujos: A, B, C, y D



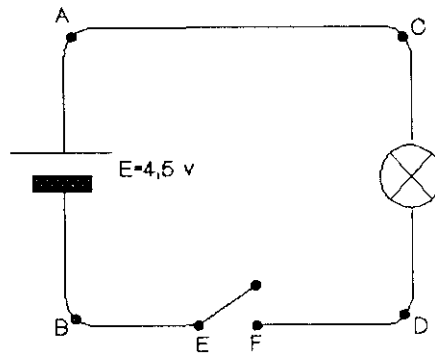
Lee cada una de las frases y pon una cruz en la casilla o casillas en las que creas que la frase es cierta. Si no lo sabes, marca la casilla correspondiente.

	A	B	C	D	no sé
a) La lámpara brilla en la figura	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
b) Hay corriente eléctrica en la figura	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
c) Existe voltaje en la figura	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Razona tu contestación.

FIGURA 26. Concepto de voltaje

A la vista del circuito, marca la respuesta correcta:

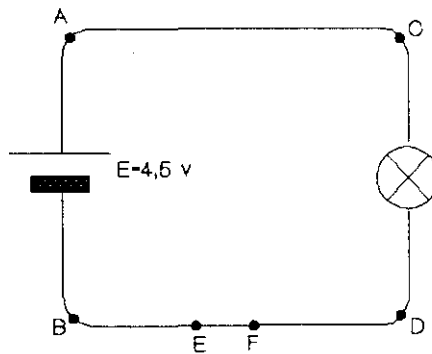


- | | 4,5 v | 0 v | No sé |
|-----------------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| -La diferencia de potencial entre A y B es... | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| -La diferencia de potencial entre C y D es... | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| -La diferencia de potencial entre E y F es... | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

Explica tu contestación.

FIGURA 27. Concepto de voltaje

A la vista del circuito, marca la respuesta correcta:



- | | 4,5 v | 0 v | No sé |
|-----------------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| -La diferencia de potencial entre A y B es... | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| -La diferencia de potencial entre C y D es... | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| -La diferencia de potencial entre E y F es... | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

Explica tu contestación.

FIGURA 28. Concepto de voltaje

Evaluación final

Las siguientes frases relacionan la corriente eléctrica y el voltaje eléctrico. Pon una cruz en la casilla correspondiente si crees que la frase es verdadera, falsa o no lo sabes.

	V	F	No sé
- El voltaje y la corriente eléctrica existen siempre juntos.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
- El voltaje puede existir sin una corriente eléctrica.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
- La corriente eléctrica puede existir sin voltaje	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Explica tu contestación.

FIGURA 29. Concepto de voltaje

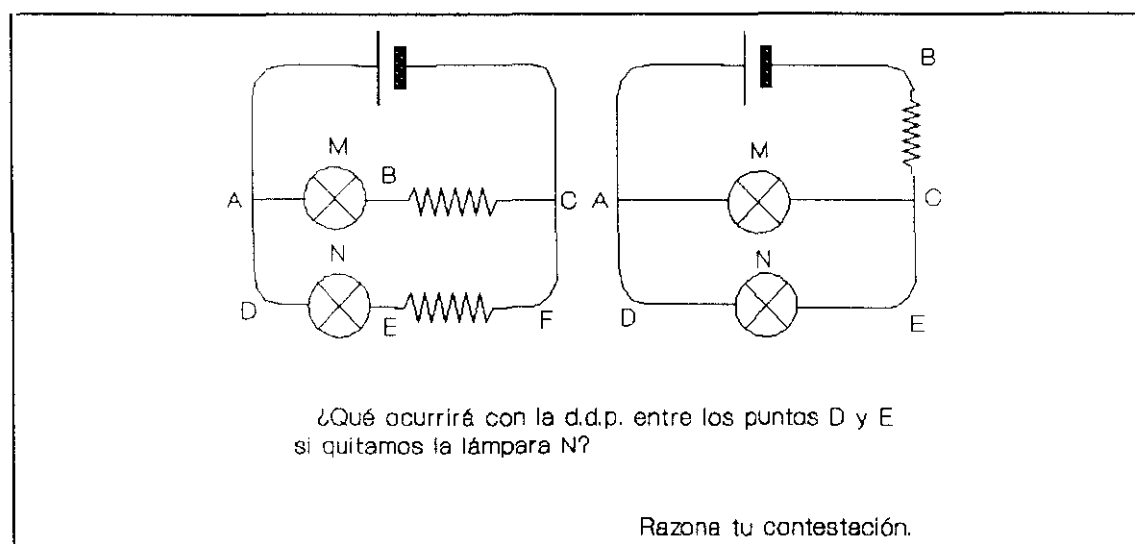


FIGURA 30. Concepto de voltaje

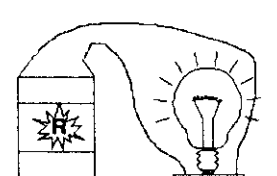
E.4. PRUEBAS RELACIONADAS CON LA CONSERVACION DE LA ENERGIA

En opinión de los estudiantes la pila se comporta como el "*almacén de corriente eléctrica*" que se va a ir gastando a lo largo del circuito. El problema central es la incapacidad de los alumnos para separar su idea de corriente

eléctrica de la noción de energía, además de no ver claramente que a este tipo de sistemas pueda aplicarse también al principio de conservación de la energía.

Evaluación inicial

La bombilla del dibujo está conectada a la pila y brilla.



Dí lo que tú piensas de las frases siguientes:

	Verdad	Falso	No sé
1.- La bombilla consume una parte importante de la energía de la corriente eléctrica.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.- La bombilla consume una parte de la corriente eléctrica.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Razona tus contestaciones.

FIGURA 31. Conservación de la energía

Evaluación final

Tenemos pila, bombilla y cables:

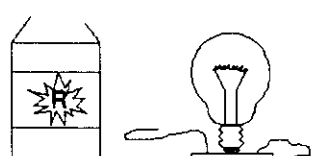
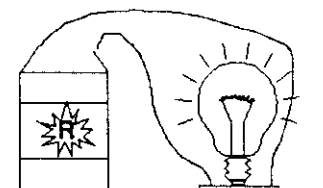
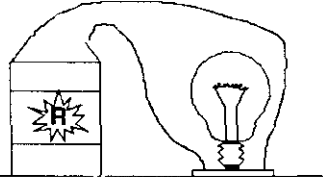
<p>A. Sin conectar.</p> 	<p>B. Después de conectada, la bombilla luce.</p> 
<p>C. Pasado cierto tiempo, la bombilla no luce.</p> 	<p>Señala en qué momento tiene la pila más energía:</p> <p>A. Antes de conectar la bombilla. B. Después de conectarla. C. Cuando no luce. D. Siempre la misma.</p> <p>Explica tu elección.</p>

FIGURA 32. Conservación de la energía

ANEXO 2

PROBLEMAS UTILIZADOS EN LA EVALUACION DEL PROCESO

Presentamos en este Anexo parte de los problemas empleados en la evaluación del proceso seguido por los estudiantes entrenados en la metodología de resolución de problemas de enunciado abierto. (Ver Apartado 7.5)

Los problemas que contiene este Anexo están clasificados en Problemas de Mecánica y Problemas de Electricidad, apareciendo también los problemas de enunciado cerrado empleados en la investigación.

De acuerdo con la terminología que hemos utilizado para la corrección de los problemas, se especifican para cada uno de ellos dos tipos de variables. En primer lugar aparecen las Variables Metodológicas numeradas de 1 a 5 de acuerdo con su naturaleza, y que para facilitar la lectura presentamos a continuación:

VM1: Análisis cualitativo del problema

VM2: Emisión de hipótesis

VM3; Elaboración de estrategias

VM4: Resolución del problema

VM5: Análisis de resultados

En segundo lugar aparecen las Variables de Contenido, numeradas correlativamente, y definidas específicamente para cada uno de los problemas de acuerdo con los criterios establecidos.

PROBLEMAS DE MECANICA

PM1: EL PROBLEMA DEL ASCENSOR

Un ascensor arranca y en ese momento se rompen los enganches que sujetaban el plafón a la luz del techo. Calcular el tiempo que tardará la lámpara en llegar al suelo.

Variables metodológicas

PM1. VM1. El análisis cualitativo consistiría en detectar que se trata de un problema de dos móviles que inicialmente están en reposo separados una cierta distancia. Ambos van a comenzar a moverse simultáneamente uno hacia el otro hasta encontrarse, siendo la variable buscada el tiempo que tardarán en hacerlo.

La restricción de condiciones para este caso sería: suponer que el plafón es puntual y que en su movimiento no vamos a tener en cuenta fuerza de rozamiento. El ascensor va a moverse con aceleración constante y pueden darse dos posibilidades: el ascensor sube o el ascensor baja.

PM1.VM2. El tiempo que van a tardar en encontrarse los dos móviles va a depender directamente de la altura del ascensor, siendo la dependencia de la aceleración función del sentido en que se mueva el ascensor. Un caso límite sencillo de resolver sería el que el ascensor estuviese parado en cuyo caso la

aceleración del ascensor sería 0 y nos encontraríamos con el estudio de una caída libre, situación que resulta más familiar a los alumnos.

PM1.VM3. La estrategia de resolución generalmente utilizada sería: plantear las ecuaciones de los dos móviles teniendo en cuenta, en función de donde se haya tomado el origen de coordenadas, que uno de los dos posee espacio inicial y que dependiendo del sentido del movimiento del ascensor las aceleraciones van a ser de igual o de distinto signo. Algún estudiante podría resolver el problema tomando como referencia un sistema de coordenadas no inercial ligado al ascensor.

PM1.VM4. La resolución del problema pasa por aplicar la condición de que en el momento de encontrarse, los vectores de posición coinciden y de esta igualdad se puede obtener el tiempo que ha transcurrido:

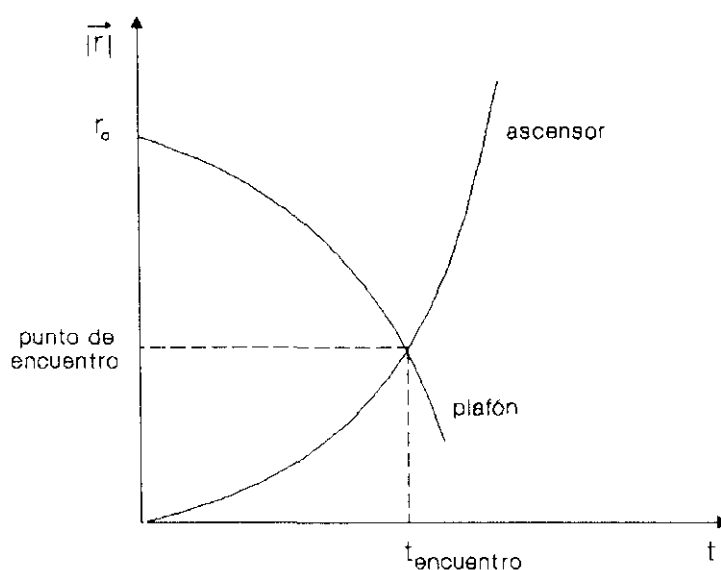
$$t = \sqrt{\frac{2 \cdot r_0}{g \pm a}}$$

coincidiendo r_0 con la altura del ascensor; el signo + corresponde al ascensor subiendo y el signo - al ascensor bajando.

PM1.VM5. El análisis de resultados pasaría por comprobar la corrección del resultado y ver si satisface las hipótesis emitidas. Efectivamente el tiempo depende directamente de la altura del ascensor e inversamente de la composición de las aceleraciones. En el caso límite de que el ascensor estuviera parado $a = 0$, el tiempo sería el correspondiente a una caída libre desde una altura h . También se puede ver que cuando el ascensor baja, si lo hace con una aceleración

mayor que la de la gravedad (¡caso muy poco probable!) el plafón no alcanzaría nunca el suelo, siendo por el contrario alcanzado por el techo.

Algunos alumnos pueden realizar una representación gráfica del movimiento que quedaría así:



Variables de contenido

PM1.VC1. Dibujar unos ejes de coordenadas tomando el origen en uno cualquiera de los móviles y dibujar los vectores aceleración y velocidad que aparecen en el problema.

PM1.VC2. Escribir las ecuaciones del movimiento para los dos móviles identificando para el plafón que su aceleración coincide con la de la gravedad.

PM1.VC3. Plantear que cuando el plafón toque el suelo para el sistema de referencia elegido los dos vectores de posición son idénticos, es decir:

$$\vec{r}_{\text{plafón}} = \vec{r}_{\text{suelo ascensor}}$$

es decir, hay una coincidencia en el tiempo y en el espacio. Una alternativa que puede considerarse correcta aunque de menor nivel de formalización es utilizar:

$$\text{espacio plafón} + \text{espacio ascensor} = \text{altura ascensor}$$

en la cual se prescinde de la notación vectorial.

PM1.VC4. Resolver la ecuación planteada y calcular el tiempo que tarda la lámpara en chocar con el suelo del ascensor.

PM2: CICLISTAS EN UN VELODROMO

Dos ciclistas están en el mismo punto de una pista circular. Si salen pedaleando en sentido contrario, ¿donde y cuando se encontrarán?.

Realizar una aplicación numérica consultando la prensa deportiva.

Variables metodológicas

PM2.VM1. Los ciclistas que inicialmente coinciden en el tiempo y en el espacio, se encontrarán en un punto que va a depender de las características del movimiento de cada uno de ellos. En el momento en que se encuentran, la suma de los espacios recorridos por ambos corredores tiene que ser igual a la longitud

de la circunferencia. Algunos estudiantes imponen la restricción de que el movimiento de los ciclistas se produzca a velocidad constante, lo cual implica que para $t=0$ ambos tienen ya una determinada velocidad que van a mantener durante todo el recorrido.

En cuanto al tipo de pista donde van a correr, se plantea que sea plana o por el contrario que tenga peralte. En el primer caso la fuerza de rozamiento es la que produce la aceleración centrípeta y en el segundo caso se puede prescindir, por sencillez, del rozamiento.

PM2.VM2. El espacio que van a recorrer, medido sobre la circunferencia, va a depender directamente de la aceleración tangencial de los ciclistas, o de su velocidad si el movimiento es circular uniforme.

Un caso de fácil análisis es considerar que los dos ciclistas se muevan con la misma velocidad o con la misma aceleración, ya que en estos casos se encontrarán justamente en el punto opuesto de la circunferencia habiendo recorrido el mismo espacio, $\pi \cdot R$. También resulta muy intuitivo avanzar que si aumenta la aceleración de uno de los ciclistas, va a aumentar el espacio recorrido por él y en consecuencia va a disminuir el espacio recorrido por el otro corredor.

El radio de la circunferencia va a influir también directamente en el espacio recorrido siendo una caso límite para este problema que R tendiese a infinito, en cuyo caso la circunferencia se transformaría en una recta y los ciclistas no se encontrarían nunca.

PM2.VM3. A la hora de resolver este problema nuestros alumnos van a trabajar generalmente con magnitudes escalares, es decir, espacio contado sobre la circunferencia y módulo de la velocidad y de la aceleración. Otra estrategia a utilizar es la de resolver el problema utilizando magnitudes angulares: ángulo recorrido y velocidad y aceleración angulares.

PM2.VM4. El problema quedara resuelto cuando, planteadas las ecuaciones del movimiento de ambos móviles y aplicando la condición

$$S_1 + S_2 = 2 \cdot \pi \cdot R \quad \text{o} \quad \varphi_1 + \varphi_2 = 2 \cdot \pi$$

se elimine el tiempo, resultando que el punto de encuentro estará a una distancia del punto de salida, contada en el sentido en que se mueve el **ciclista 1**, de valor:

$$S_1 = \frac{2\pi R}{1 + \frac{a_{t_2}}{a_{t_1}}}$$

o en sentido contrario

$$S_2 = \frac{2\pi R}{1 + \frac{a_{t_1}}{a_{t_2}}}$$

donde a_{t_1} y a_{t_2} son las correspondientes aceleraciones tangenciales.

Si han utilizado magnitudes angulares los resultados serían:

$$\varphi_1 = \frac{2\pi}{1 + \frac{\alpha_2}{\alpha_1}} \quad o \quad \varphi_2 = \frac{2\pi}{1 + \frac{\alpha_1}{\alpha_2}}$$

Si se considera el caso particular del movimiento uniforme la distancia recorrida por el **ciclista 1** sería:

$$S_1 = \frac{2\pi R}{1 + \frac{V_2}{V_1}}$$

o a una distancia del punto de salida en el sentido del movimiento del **ciclista 2**:

$$S_2 = \frac{2\pi R}{1 + \frac{V_1}{V_2}}$$

o si se ha trabajado con magnitudes angulares:

$$\varphi_1 = \frac{2\pi}{1 + \frac{\omega_2}{\omega_1}} \quad \varphi_2 = \frac{2\pi}{1 + \frac{\omega_1}{\omega_2}}$$

En cuanto al tiempo transcurrido, independientemente del procedimiento utilizado, sería para el uniformemente acelerado:

$$t = \sqrt{\frac{4\pi R}{a_{t_1} + a_{t_2}}}$$

y para el movimiento uniforme:

$$t = \sqrt{\frac{2\pi R}{V_1 + V_2}}$$

PM2.VM5. El análisis de resultados de este problema se presenta muy rico. Si han trabajado con magnitudes lineales el resultado coincide con las hipótesis realizadas y un estudio más detallado nos muestra que el espacio recorrido por cada uno de los ciclistas aumenta si aumenta su aceleración y disminuye si aumenta la aceleración del otro corredor: si a_{t_1} aumenta, el cociente $\frac{a_{t_2}}{a_{t_1}}$

disminuye, el denominador de la expresión que nos da el espacio recorrido disminuye y por lo tanto S_1 aumenta. Un efecto contrario ocurrirá si lo que aumenta es a_{t_2} .

En el caso particular de que las aceleraciones de ambos móviles sean iguales, S_1 se hace igual a S_2 e igual a πR como habíamos avanzado.

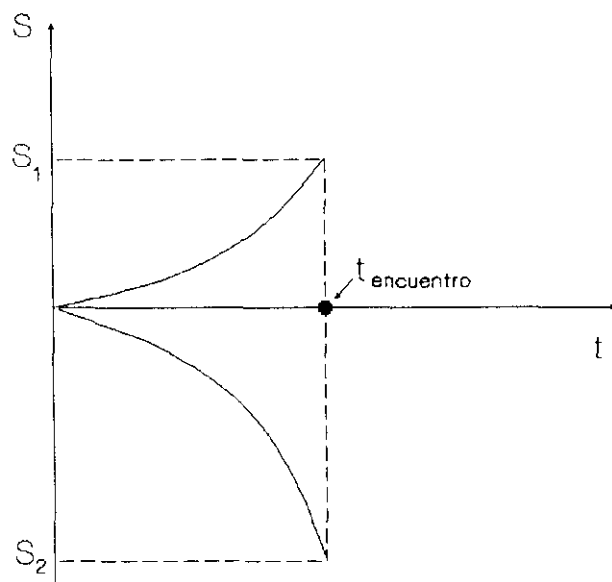
En cuanto a la influencia del radio, se observa claramente que si $R \rightarrow \infty$ el espacio recorrido por cada uno de los ciclistas tenderá también a ∞ .

Argumentos similares aparecen cuando se analizan los resultados para el caso de movimientos uniformes. Aquí el papel de la aceleración lo juega la velocidad de cada móvil y si ambas son iguales, se obtiene el mismo resultado de encontrarse en el punto opuesto que cuando se movían con movimiento acelerado.

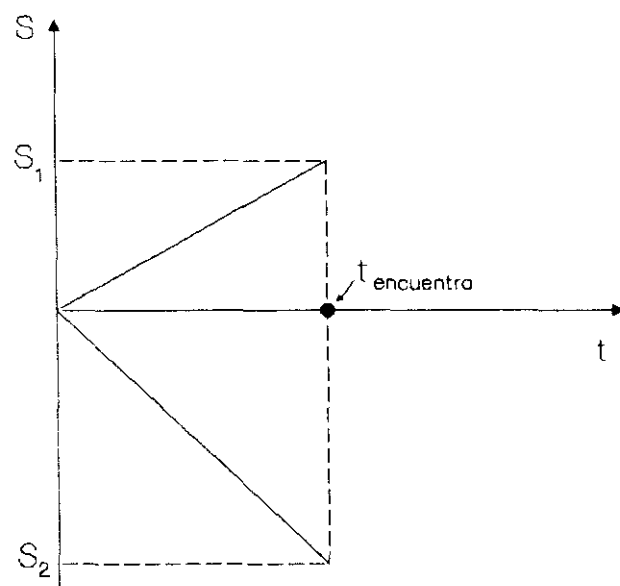
En cuanto al tiempo, encontramos que será mayor cuanto mayor sea el radio de la circunferencia (los ciclistas tendrán que recorrer más espacio con

independencia del valor de los otros parámetros) y menor cuanto mayor sea la suma de las aceleraciones o velocidades según el caso.

El análisis gráfico del problema nos llevaría a obtener, para el caso de movimiento uniformemente acelerado, la gráfica representada a continuación:



y para el caso de los ciclistas moviéndose con movimiento uniforme:



Esta representación tiene cierta dificultad para los estudiantes ya que, hay que apreciar que el hecho de moverse en sentidos contrarios hace que S_2 (o S_1) sea negativo y que al punto de encuentro no le corresponda un punto común en los gráficos debido a que en este caso estamos representando los espacios medidos sobre la circunferencia (un caso distinto al del problema del ascensor).

Variables de contenido

PM2.VC1. Plantear las ecuaciones del movimiento para cada uno de los móviles, ya sea uniforme o uniformemente acelerado.

PM2.VC2. Apreciar en el movimiento uniformemente acelerado, si consideramos el espacio medido sobre la circunferencia, que la aceleración que aparece es únicamente la tangencial.

PM2.VC3. Aplicar la condición de que la suma de los espacios recorridos tiene que ser igual a $2\pi R$.

Optativamente se puede llegar a ver:

PM2.VC4. Discutir que para una pista plana y movimiento circular uniforme, la fuerza de rozamiento es la fuerza centrípeta necesaria para poder recorrer la circunferencia. La velocidad es igual a:

$$v = \sqrt{\mu g R}$$

PM2.VC5. En caso de curva peraltada deducir que la velocidad del ciclista es igual a:

$$v = \sqrt{tg \alpha \cdot R \cdot g}$$

PROBLEMA DE ENUNCIADO CERRADO

PCMC: JUGANDO AL GOLF

Severiano Ballesteros está jugando un hoyo en el Open USA. Pretende llegar al "green" , cuyo borde más próximo está situado a 180 m. de un solo golpe. La bola va a salir con una rapidez de 40 m/s. ¿Logrará su objetivo?

Tomar $g = 10 \text{ m/s}^2$.

PCMC.VC1. Hacer un esquema del problema dibujando los ejes de coordenadas y la fuerza actuante.

PCMC.VC2. Deducir las ecuaciones del movimiento para la pelota.

PCMC.VC3. Aplicar la condición del alcance máximo ($y=0$) y deducir la expresión del mismo.

PCMC.VC4. Deducir que el ángulo para el que el alcance es máximo, independientemente de la velocidad inicial, es 45° .

PCMC.VC5. Sustituir el valor del ángulo y de la velocidad inicial para ver si el alcance sale mayor que 180 m.

PROBLEMAS DE ELECTRICIDAD

PE1: COMO CONSTRUIR UN CALENTADOR ELECTRICO.

¿Qué tendríamos que hacer para construir una determinada resistencia eléctrica de inmersión con el fin de poder calentar un líquido?

Variables metodológicas

PE1.VM1. El análisis del problema pasa por reconocer que un calentador de inmersión está construido con una resistencia eléctrica. Cuando por esta resistencia pasa la corriente aumenta su temperatura y en consecuencia calentará el líquido donde se sumerge.

La energía calorífica suministrada por la resistencia depende de una serie de parámetros de tipo eléctrico así como del tiempo que esté enchufada. El aumento de temperatura experimentado por el líquido va a venir influenciado por la masa del líquido y por su naturaleza a través del calor específico. Si queremos calentar un líquido cuyas características vienen prefijadas, tendremos que construir un calentador, que conectado a una diferencia de potencial determinada (la suministrada por la red), nos proporcione la energía calorífica que necesitamos en un tiempo considerado razonable.

Se pueden plantear varias restricciones. En primer lugar, despreciar las pérdidas en los hilos conductores que constituyen el circuito. Algunos alumnos

van a considerar que la resistencia va a estar dentro de un tubo de vidrio, con lo cual habría que tener en cuenta las características del vidrio o suponer que no influye en la transferencia de energía. En síntesis, se puede simplificar el problema considerando que las pérdidas en la transformación de energía eléctrica en energía térmica *no deseada* son nulas, es decir, estudiar la transformación energética que se va a producir como un caso ideal de rendimiento 1 o, por el contrario, introducir en la resolución el valor estimado del rendimiento.

Otro efecto a considerar es la variación de la resistencia cuando cambia la temperatura. Se puede imponer la restricción de considerar esta variación despreciable a fin de simplificar la solución del problema.

PE1.VM2. Vamos a separar las posibles hipótesis a emitir en dos grupos. Por una parte están los parámetros del líquido: masa, calor específico y aumento de temperatura deseado, contribuyendo los tres directamente al valor de la energía térmica que se necesita. En cuanto a los parámetros eléctricos va surgir un problema ya que muchos estudiantes piensan que cuanto mayor sea la energía térmica que necesitamos, mayor tiene que ser el valor de la resistencia empleada. A pesar de ello, debe salir también como hipótesis que, para una diferencia de potencial constante, a mayor energía menor resistencia tenemos que utilizar a la hora de construir el calentador. El tiempo va a influir directamente en el valor de la energía obtenida.

Por otra parte, si este calentador lo vamos a construir con un hilo metálico, la resistencia va a ser directamente proporcional al tipo de material empleado -a través de la resistividad y a la longitud del hilo e inversamente proporcional a la sección del citado hilo.

PE1.VM3. La estrategia a seguir para resolver el problema sería escribir por un lado la expresión de la energía térmica necesaria en el calentamiento y por otra la expresión de la energía eléctrica que se va a suministrar en función de la diferencia de potencial, del valor de la resistencia y del tiempo que va a estar funcionando. Posteriormente, se procede a la igualación de ambas considerando un coeficiente μ que va a medir el rendimiento de la transformación:

$$\mu \text{ Energía Eléctrica} = \text{Energía Térmica}$$

donde μ estaría comprendido entre 0 y 1.

PE1.VM4. La resolución del problema conduce a una expresión del tipo

$$R = \frac{\mu \cdot V^2 \cdot t}{m \cdot c \cdot \Delta T_p}$$

PE1. VM5. El análisis del resultado permite observar que efectivamente la resistencia que necesitamos es inversamente proporcional a la energía térmica demandada, expresada por el producto $m \cdot c \cdot \Delta T_p$. La resistencia va a depender también del valor del voltaje a que a ser enchufado y del tiempo de funcionamiento. Como $0 < \mu < 1$ cuanto mayor sea el rendimiento de la transformación mayor es el valor de la resistencia que necesitamos, todo ello de acuerdo con las hipótesis emitidas.

En la resolución de este problema vamos a encontrarnos con que la mayoría de los estudiantes van a utilizar para la energía eléctrica una expresión del tipo

$$\text{Energía Eléctrica} = i^2 \cdot R \cdot t$$

que les resulta más familiar, con lo que el igualar a la energía térmica y despejar **R** obtendrán:

$$R = \frac{m \cdot c \cdot \Delta t_p}{\mu \cdot i^2 \cdot t}$$

resultado que van a dar por bueno de acuerdo con algunas de las hipótesis erróneas que comentamos anteriormente, sin apreciar que *i* es una función de **R**, $i = \frac{V}{R}$, cuando la diferencia de potencial está fijada.

Variables de contenido

PE1.VC1. Plantear la ecuación de la energía térmica necesaria para calentar una masa de líquido.

PE1.VC2. Plantear la ecuación de la energía eléctrica en función de la diferencia de potencial, de la resistencia y del tiempo.

PE1.VC3. Igualarlas teniendo en cuenta la existencia de un rendimiento propio de la transformación.

PE1.VC4. Analizar la dependencia de la resistencia eléctrica del hilo, de los factores que la caracterizan.

PE3. ASOCIACION DE BOMBILLAS

Dada una pila y tres bombillas iguales, ¿de cuántas formas diferentes podrían conectarse?, ¿cuál sería el brillo de cada una de las lámparas, para cada uno de los casos, comparado con su brillo "normal"?

NOTA: Admitimos que la pila utilizada es suficiente para hacer que una bombilla brille normalmente.

Variables metodológicas

PE3.VM1. El análisis del problema pasa por reconocer que el brillo de las bombillas depende de la intensidad de corriente que pasa por ellas. Una bombilla está construida para que cuando se conecte a un determinado voltaje, y como consecuencia pase por ella una determinada corriente eléctrica, el brillo sea el "normal".

Por otra parte, la intensidad que va a pasar por las tres bombillas que propone el problema va a depender de como se conecten, pudiendo hacerse esto en serie, en paralelo o asociaciones mixtas. Para resolver el problema habrá que ir estudiando cada uno de los casos.

Se pueden introducir varias restricciones para adecuar el problema al nivel de los alumnos a que va dirigido: el generador es ideal y por tanto se va a suponer que su resistencia interna es despreciable (la pila va a suministrar una diferencia de potencial constante), no se va a tener en cuenta la variación de la

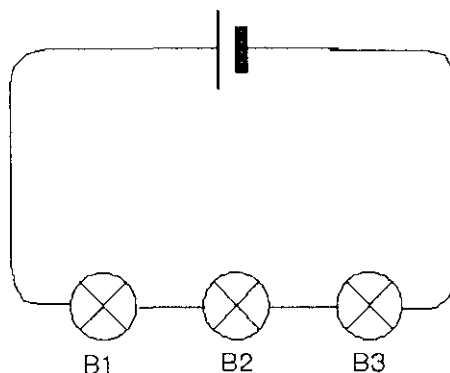
resistencia con la temperatura y se va a despreciar también la resistencia eléctrica de los cables.

PE3.VM2. Las hipótesis emitidas pueden ir en la línea de adelantar que el brillo de una lámpara, al ser proporcional a la intensidad que pasa por ella, o el voltaje entre sus extremos va a depender del tipo de montaje en que se conecte. El hecho de que, en determinadas circunstancias, el brillo de una lámpara intercalada en un montaje va a ser el mismo que si estuviera ella sola, resulta difícil de avanzar para un número elevado de estudiantes.

PE3.VM3. La estrategia más adecuada para resolver este problema es considerar cada uno de los casos en los siguientes términos: dibujar el circuito, calcular la resistencia equivalente del montaje considerado y con este valor la intensidad que va a pasar por cada una de las ramas donde haya una bombilla intercalada. El brillo de la bombilla es proporcional al cuadrado de la intensidad que pasa por ella por lo tanto conocida esta, para cada uno de los casos, podemos calcular cuantas veces es mayor o menor el brillo de las bombillas comparándolo con el caso de "conexión normal".

PE3.VM4. Los resultados para cada uno de los posibles casos serían:

a) **Circuito serie:** El circuito es el representado a continuación:



donde la resistencia equivalente vale:

$$R_T = 3 \cdot R_B$$

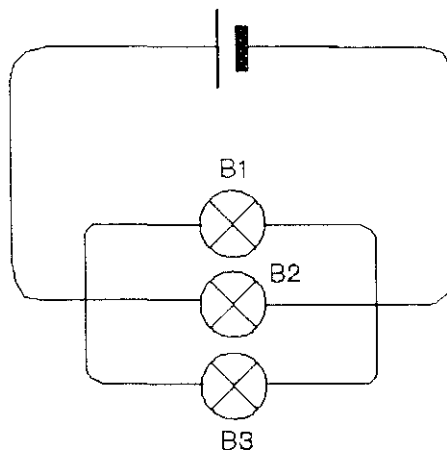
y la intensidad total resulta:

$$i_T = \frac{V}{3 \cdot R_B} = \frac{i_B}{3}$$

siendo $i_B = \frac{V}{R_B}$ la intensidad correspondiente al brillo *normal* de una bombilla.

En este caso el **brillo** de todas las bombillas sería menor que el *normal* es decir, él que tendría cada una de ellas si se conectara por separado a la misma pila

b) Circuito paralelo: El circuito es el representado a continuación:

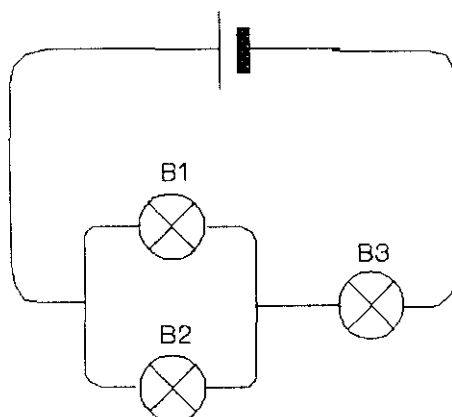


En este caso la intensidad que pasa por cada bombilla, $i_B = \frac{V}{R_B}$ es la misma

que si hubiera una sola, luego **el brillo** de cada una de las bombillas coincide con el **normal**.

c) **Asociaciones mixtas:** existen dos posibilidades tal como se aprecia en las siguientes figuras.

c1)



En este circuito, la resistencia equivalente vale :

$$R_T = \frac{3}{2} R_B$$

y por lo tanto la intensidad total, que coincide con la que pasa por la bombilla **B3**, resulta:

$$i_T = i_{B3} = \frac{2}{3} \frac{V}{R_B}$$

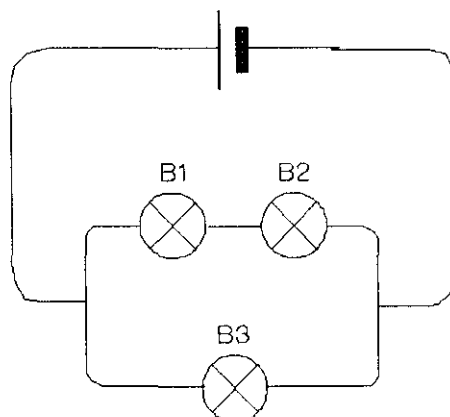
que como se aprecia es dos tercios de la intensidad *normal*.

Por otra parte, la intensidad por cada una de las ramas, es decir la intensidad que pasa por **B1** y **B2** sería:

$$i_{B1} = i_{B2} = \frac{1}{3} \frac{V}{R_B}$$

Como conclusión, en lo que al brillo se refiere, podemos afirmar que **todas las bombillas brillarán menos que en condiciones normales ya que para todas ellas la intensidad es menor.**

c2) El circuito correspondiente es:



En este caso la resistencia equivalente sería:

$$R_T = \frac{2}{3} R_B$$

y por lo tanto la intensidad total vale:

$$i_T = \frac{3}{2} \frac{V}{R_B}$$

que al bifurcarse por las ramas en paralelo resulta para las bombillas **B1** y **B2** :

$$i_{B1} = i_{B2} = \frac{1}{2} \frac{V}{R_B} \quad \text{y para la bombilla } \mathbf{B3}: \quad i_{B3} = \frac{V}{R_B}$$

luego en este caso **la bombilla B3 brillaría normalmente ya que pasa por ella la misma intensidad que si estuviera conectada a la pila ella sola.** Por el contrario, en este caso, las bombillas **B1** y **B2** brillarán menos.

Cada uno de los casos que hemos descrito puede resolverse también aplicando el principio de conservación de la energía en el sentido de que la energía suministrada por el generador es proporcional a la diferencia de potencial que presenta en sus bornes. Asimismo, cada una de las bombillas va a "consumir" una energía proporcional al voltaje medido en sus extremos.

En el circuito serie el voltaje de la pila se divide en tres partes iguales y por lo tanto, el brillo disminuirá proporcionalmente. **En el circuito paralelo, cada una de las bombillas queda conectada al mismo voltaje, lo mismo que la bombilla B3 en el caso c2, por lo que su brillo será el mismo que si conectáramos una sola bombilla a la misma pila.** En el último caso, c2, las bombillas **B1** y **B2** tienen que repartirse el voltaje, luego le corresponderá $\frac{V}{2}$

a cada una de ellas y su brillo será menor. Para la asociación mixta **c1**, el voltaje tiene que repartirse proporcionalmente entre la resistencia **R_B** y una equivalente de valor $\frac{R_B}{2}$ luego a la bombilla **B3** le corresponde un voltaje $\frac{2 \cdot V}{3}$ y a **B1** y a

B2 un voltaje de valor $\frac{V}{3}$, luciendo todas en menor proporción. Los resultados

de este análisis coinciden, como era de esperar, con los realizados a partir del cálculo de la intensidad de la corriente eléctrica que pasa por cada una de las bombillas.

PE3.VM5. Tal como habíamos previsto en las hipótesis, el modo en que las lámparas estén conectadas va a influir en la intensidad que pase por cada una de ellas, o en el voltaje medido en sus extremos, y por lo tanto en el brillo que van a presentar. Se comprueba que si una lámpara, incluida en un montaje de varios elementos, está conectada al mismo voltaje que si estuviera ella sola en el

circuito, su brillo va a ser el mismo, independientemente del resto de los elementos del circuito (casos **b**: asociación en paralelo o lámpara **B3** en **c2**: asociación mixta).

Variables de contenido

PE3.VC1. Dibujar correctamente los circuitos eléctricos para cada uno de los casos estudiados.

PE3.VC2. Calcular la resistencia equivalente en cada una de las asociaciones presentadas.

PE3.VC3. Aplicar el principio de conservación de la corriente eléctrica para calcular la intensidad de la corriente en cada una de las ramas. En su lugar se puede aplicar la conservación del voltaje a lo largo del circuito.

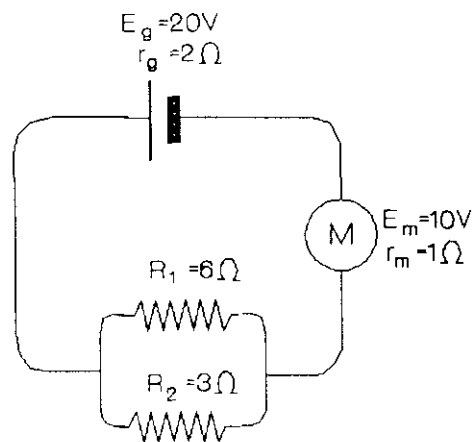
PE3.VC4. Deducir la relación del brillo de cada bombilla en los diferentes montajes comparado con el brillo en situación normal.

PROBLEMA DE ENUNCIADO CERRADO

PCEI. ESTUDIO DE UN CIRCUITO ELECTRICO CON MOTOR

En el circuito de la figura hallar:

- a) La intensidad en la resistencia de $6\ \Omega$
- b) La diferencia de potencial en los bornes del motor
- c) La potencia mecánica que suministra el motor



Variables de contenido

PCEI.VC1. Calcular la resistencia equivalente del circuito

PCEI.VC2. Aplicar el principio de conservación de la energía para calcular la intensidad total del circuito.

PCE.VC3. Aplicar la ley de Ohm y el principio de conservación de la corriente eléctrica para calcular la intensidad que circula por la resistencia de $6\ \Omega$.

PCEI.VC4. Calcular la diferencia de potencial en los extremos del motor.

PCEI.VC5. Calcular la potencia mecánica suministrada por el motor.